

**ADAPTACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DE UN MOTOR A GASOLINA
TRABAJANDO CON GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO**

CRISTIAN DAVID RIOS GARCIA

**Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Tecnologías
Escuela de Tecnología Mecánica
2017**

**ADAPTACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DE UN MOTOR A GASOLINA
TRABAJANDO CON GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO**

CRISTIAN DAVID RIOS GARCIA

**Trabajo de grado presentado para optar al título de
Tecnólogo Mecánico**

Director
PH, D. ING. CARLOS ALBERTO ROMERO PIEDRAHITA
Docente de escuela de Tecnología Mecánica

Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Tecnologías
Escuela de Tecnología Mecánica
2017

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira; Mayo de 2017

Dedico mi trabajo de grado de manera especial a mi padre Jaime Anzola Rios Guzmán por guiarme al mundo de la mecánica, constante apoyo y motivación, darme grandes consejos, ampliar mis horizontes, ayudarme a vencer los obstáculos, y los grandes valores que nunca olvidare.

A mi madre Diana Carmenza Garcia, por el apoyo incondicional que me ha brindado en toda mi carrera, amplios consejos y constante motivación, además de enseñarme el camino hacia éxito, darme la fuerza de seguir adelante.

A mi hermana Monica Rios Garcia por brindarme constante apoyo, pasar momentos agradables y llenas de felicidad con el más grandioso enlace que me ha dado de tener una excelente hermana.

Y a toda mi familia que en todo este tiempo estuvieron para darme felicidad, alegría y paz interior haciéndome cada día más fuerte.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a **DIOS** por regalarnos el don de la vida, conservar mi salud, ser el faro y la fortaleza en mí caminar.

A mi familia por brindarme todo el apoyo moral, ser mis guías en el camino de la vida, inculcarme valores, y los sacrificios que hicieron para que sea uno de los mejores en la sociedad.

A la Universidad Tecnológica de Pereira y en especial a la Escuela de Tecnología Mecánica por acogerme, forjarme en el conocimiento y desarrollarme como un profesional para la nueva generación.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Carlos Alberto Romero por el tiempo compartido, por darme la oportunidad de ampliar mis horizontes realizando esta investigación e impulsándome en el mundo profesional.

Gracias a todas y cada una de las personas que directa o indirectamente participaron en la presente investigación, que invirtieron su tiempo y conocimiento para ayudarme a completar mi trabajo de grado.

GRACIAS.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio desarrollado en el Laboratorio de Máquinas de Combustión Interna de la Universidad Tecnológica de Pereira cuyo objetivo principal consiste en realizar pruebas del motor Willys G1600 con adaptación de un kit de gas natural vehicular comprimido (GNVC) para medir sus respectivas eficiencias en relación a la fuerza (hp) Vs revoluciones por minuto (RPM), por medio de instrumentos digitales y analógicos.

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS	14
1.1. Objetivo general	14
1.2. Objetivos específicos.....	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1. DEFINICIONES	16
2.2. CARACTERÍSTICAS, ESPECIFICACIONES, CAPACIDADES Y PESO DEL MOTOR.....	18
2.2.1. Característica del motor G1600	18
2.2.2. Especificaciones del motor G1600.....	19
2.2.3. Capacidades del motor G1600	19
2.2.4. Peso del motor G1600.....	19
2.3. EQUIPOS DE CONVERSIÓN A GAS NATURAL	21
3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN	36
3.1. INFORMACIÓN GENERAL	36
3.1.1. Banco de pruebas para el motor G1600	36
3.1.2. Especificaciones y ubicación del extractor de aire E.M.I.....	37
3.1.3. Especificaciones, procedimiento de instalación y manejo de la luz de sincronización.....	38
3.1.4. Especificaciones, procedimiento de instalación y manejo de la balanza	42
3.1.5. Especificaciones y manejo del manómetro	44
4. MODIFICACIÓN E INSTALACIÓN DEL KIT DE GAS NATURAL COMPRIMIDO VEHICULAR (GNCV)	47
4.1. MODIFICACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA ACCESORIOS DEL MOTOR G1600	47
4.1.1. Reubicación del tanque de gasolina	47
4.1.2. Reubicación de la batería	48
4.1.3. Sistema de acoplamiento para salida de gases	49
4.1.4. Instalación del kit del gas natural comprimido vehicular.....	51
4.2. SEGURIDAD INDUSTRIAL	55

4.2.1.	Recolector de virutas de freno de disco	55
4.2.2.	Protección de la válvula del tanque de almacenamiento.....	57
4.2.3.	Protección al sistema del freno.....	57
4.2.4.	Base del tanque de almacenamiento.....	59
4.2.5.	Elementos de protección personal.....	61
4.3.	RECORRIDO GENERAL DEL GAS NATURAL COMPRIMIDO VEHICULAR AL MOTOR G 1600	62
4.3.1.	Tanque de almacenamiento – regulador/reductor.....	62
5.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	64
5.1.	REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS PARA GASOLINA Y GAS NATURAL	64
5.1.1.	Preparación del procedimiento experimental	65
5.1.2.	Realización de las pruebas para gasolina y gas natural	65
5.2.	REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS CON GASOLINA Y GAS NATURAL PARA SELECCIÓN DE CHISPA ADECUADA.....	66
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	69
6.1.	COMPORTAMIENTO DEL MOTOR G1600 FUNCIONANDO A GASOLINA.....	69
6.1.1.	Ecuación de la conversión para la unidad de presión manométrica.....	69
6.1.2.	Valores obtenidos de las pruebas para Gasolina.....	70
6.1.3.	Ecuación de conversión de par de torsión (Nm) a potencia (J/seg)	75
6.1.4.	Ecuación de conversión de potencia (J/seg) a potencia (Hp).....	77
6.2.	COMPORTAMIENTO DEL MOTOR G1600 FUNCIONANDO A GAS NATURAL COMPRIMIDO VEHICULAR (GNCV).....	81
6.2.1.	Ecuación de conversión para la unidad de presión manométrica	82
6.2.2.	Valores obtenidos de las pruebas para GNCV	83
6.2.3.	Ecuación de conversión de par de torsión (Nm) a potencia (J/seg)	87
6.2.4.	Ecuación de conversión de potencia (J/seg) a potencia (Hp).....	89
6.3.	CÁLCULO DE PÉRDIDA DE POTENCIA UTILIZANDO LA CONVERSIÓN DE GASOLINA A GNCV EN EL MOTOR G1600	93
6.4.	MEDICIÓN DE VOLTAJE PARA GASOLINA Y GNCV EN DOS PUNTOS DE ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD ANGULAR	99
6.4.1.	Medición de voltaje y velocidad angular en ralentí o vacío	99
6.4.2.	Medición de voltaje y velocidad angular con carga de 23.11 Kgf o 35 PSI a 45 grados en posición de la mariposa	102
7.	CONCLUSIONES	107
8.	RECOMENDACIONES.....	108

9. COSTOS DEL PROYECTO EXPERIMENTAL	109
BIBLIOGRAFÍA.....	111

ANEXOS

Anexo 1. Informe sobre las mediciones de desempeño del motor Hércules G1600 operando con tres combustibles.	114
--	-----

FIGURAS

Figura 1. Motor de combustión interna y sus componentes de funcionamiento básico	16
Figura 2. Motor G1600.....	20
Figura 3. Curva de potencia del motor G1600	20
Figura 4. Motor de combustión interna con sistema de gas natural vehicular	23
Figura 5. Funcionamiento de las cámaras del regulador/reductor	27
Figura 6. Mezclador tipo tubo o promiscuo	29
Figura 7. Mezclador tipo chapa superior	30
Figura 8. Mezclador tipo chapa inferior	30
Figura 9. Mezclador tipo horquilla	31
Figura 10. Electroválvula de gasolina	32
Figura 11. Selector automático	33
Figura 12. Racor para gas natural	34
Figura 13. Indicador de presión combinado	35
Figura 14. Banco de pruebas del motor G1600	36
Figura 15. Extractor de aire E.M.I.	37
Figura 16. Ubicación del extractor de aire.....	38
Figura 17. Lámpara estroboscópica.....	38
Figura 18. Instalación de la pinza inductiva y las pinzas cocodrilo negro y roja	39
Figura 19. Esquema de las luces de sincronización.....	41
Figura 20. Balanza.....	42
Figura 21. Celda de carga tipo viga	43
Figura 22. Celda de carga instalada en la mordaza para freno de disco.....	44
Figura 23. Manómetro	45
Figura 24. Reubicación del tanque de la gasolina.....	47

Figura 25. Reubicación de la base de la batería	48
Figura 26. Acoplamiento del tubo de escape – curva elástica.....	50
Figura 27. Tubería para salida de gases contaminantes.....	51
Figura 28. Esquema de instalación del kit de GNCV.....	52
Figura 29. Posicionamiento del talque de almacenamiento	52
Figura 30. Posicionamiento del regulador/reductor	53
Figura 31. Buje dibujado en SolidWorks	54
Figura 32. Mezclador tipo chapa superior acoplado al regulador/reductor	54
Figura 33. Bandeja para desperdicio de viruta del freno de disco	56
Figura 34. Protector a la válvula de gas natural	57
Figura 35. Protección para manivela del sistema del freno de disco.....	58
Figura 36. Kit del GNCV desconectado	59
Figura 37. Base del tanque del gas natural.....	59
Figura 38. Rodachines delantero y trasero	60
Figura 39. Base del tanque de gas natural modificado con el tanque de almacenamiento.....	60
Figura 40. Protección auditiva.....	61
Figura 41. Protección visual.....	61
Figura 42. Vistas del motor G1600 en SolidWorks 2013.....	62
Figura 43. Tanque de almacenamiento – regulador/reductor.....	63
Figura 44. Regulador/reductor - mezclador.....	63
Figura 45. Tablero de control del motor G1600.....	64
Figura 46. Sensor de oxígeno.....	67
Figura 47. Tensión de salida del sensor de oxígeno Vs relación aire – combustible	67
Figura 48. Distribuidor del motor G1600	68
Figura 49. Multímetro digital	68
Figura 50. Tensión de salida del sensor de oxígeno Vs relación aire – combustible	106

TABLAS

Tabla 1. Características del motor	18
Tabla 2. Especificaciones del motor.....	19
Tabla 3. Capacidades del motor	19
Tabla 4. Componentes de equipos de conversión	21
Tabla 5. Características del cilindro de almacenamiento	24

Tabla 6. Características tubería de presión.....	25
Tabla 7. Especificaciones del extractor de aire E.M.I.	37
Tabla 8. Especificaciones de la lámpara estroboscópica	39
Tabla 9. Especificaciones celda de carga	43
Tabla 10. Especificaciones del manómetro.....	45
Tabla 11. Silenciador Mazda B2000	50
Tabla 12. Medidas del buje	53
Tabla 13. Valores obtenidos para Gasolina con el 25% de frenado	70
Tabla 14. Valores obtenidos para Gasolina con el 50% de frenado	71
Tabla 15. Valores obtenidos para Gasolina con el 75% de frenado	72
Tabla 16. Valores obtenidos para Gasolina con el 100% de frenado	74
Tabla 17. Tabla general de datos obtenidos para gasolina	78
Tabla 18. Valores obtenidos para GNCV con el 25% de frenado.....	83
Tabla 19. Valores obtenidos para GNCV con el 50% de frenado.....	84
Tabla 20. Valores obtenidos para GNCV con el 50% de frenado.....	85
Tabla 21. Valores obtenidos para GNCV con el 50% de frenado.....	86
Tabla 22. Tabla general de datos obtenidos para GNCV	90
Tabla 23. Perdida de potencia (Hp) en cada porcentaje de frenado dado.....	95
Tabla 24. Perdida promedio de potencia en Hp	98
Tabla 25. Valores obtenidos de velocidad angular y voltaje para gasolina.....	99
Tabla 26. Valores obtenidos de velocidad angular y voltaje para GNCV.....	101
Tabla 27. Valores obtenidos de velocidad angular y voltaje para gasolina.....	102
Tabla 28. Valores obtenidos de velocidad angular y voltaje para GNCV.....	104

GRÁFICAS

Gráfica 1. Par de torsión Vs Potencia para Gasolina	80
Gráfica 2. Potencia Vs Velocidad angular para Gasolina	81
Gráfica 3. Par de torsión Vs Potencia para GNCV	92
Gráfica 4. Potencia Vs Velocidad angular para GNCV.....	93
Gráfica 5. Comparación de las potencias de la Gasolina Vs GNCV para cada porcentaje de frenado	97
Gráfica 6. Velocidad angular (RPM) Vs Ángulo de avance para gasolina	100
Gráfica 7. Voltaje Vs Ángulo de avance para gasolina.....	100

Gráfica 8. Velocidad angular (RPM) Vs Ángulo de avance para GNCV	101
Gráfica 9. Voltaje Vs Ángulo de avance para GNCV	102
Gráfica 10. Velocidad angular (RPM) Vs Ángulo de avance para gasolina	103
Gráfica 11. Voltaje Vs Ángulo de avance para gasolina.....	103
Gráfica 12. Velocidad angular (RPM) Vs Ángulo de avance para GNCV	105
Gráfica 13. Voltaje Vs Ángulo de avance para GNCV	105

INTRODUCCIÓN

Al pasar de los tiempos, se ha observado un claro deterioro del medio ambiente debido al alto índice de emisión de gases contaminantes que destruyen la capa de ozono y contaminan el aire que se respira, la movilidad de la sociedad actual se desplaza por medio de transporte automotor como: Motos, vehículos familiares, buses urbanos e intermunicipales, etc. Al usarse este tipo de transporte es necesario que para su funcionamiento quemen el combustible fósil incrementando la problemática ambiental, se presenta la necesidad de mejorar los sistemas de combustión interna adecuando sistemas de combustibles alternativos para su mayor aprovechamiento y reducción de daño ambiental.

Hoy en día en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad Tecnológica de Pereira, se realizan estudios y desarrollos de sistemas de mejoramiento en los motores de combustión interna analizando variables como estabilidad del motor, emisiones de gases, golpeteo, revoluciones por minuto (RPM), etc. Usando combustibles alternativos con el fin de contribuir al desarrollo de motores más eficientes y menos contaminantes.

En el presente trabajo experimental se usan dos tipos de combustibles, gasolina corriente (combustibles fósil) y gas natural comprimido vehicular (GNCV) como combustible alternativo, posteriormente se toman dos aspectos fundamentales para la realización de las pruebas, en primera instancia la instalación preliminar del kit de gas natural vehicular en el banco de pruebas del motor G1600 tomando en cuenta los factores de seguridad tanto para el mismo equipo como para la seguridad de la persona que lo esté operando, y en segundo aspecto el desarrollo metodológico de las pruebas usando equipos digitales y analógicos.

En principio se definen conceptos y teoría básica relacionada con los motores de combustión interna, principalmente los accesorios y sistemas que posee un motor de combustión interna, además de los accesorios que posee el kit de gas natural vehicular, posteriormente se explica los equipos e instrumentos de medición utilizados y sus especificaciones técnicas, modificaciones del banco de pruebas e instalación del kit de gas natural comprimido vehicular (GNCV), un recorrido general del gas natural que parte desde el tanque de llenado hasta el carburador, seguidamente se describe el procedimiento experimental utilizado en las pruebas y el análisis de los resultados obtenidos.

Para el estudio experimental, el motor cuenta con una previa instalación de un banco de pruebas que fue modificado gradualmente para la instalación del kit de Gas Natural Vehicular Comprimido, el cual fue usado para proceder a realizar estas pruebas con un medidor de temperatura, luz de sincronización, medidor de presión para frenado (barómetro en medidas de PSI). En el desarrollo del presente proyecto fue necesario el uso del programa SolidWorks 2013, para una presentación del motor G1600 con instalación del Kit de Gas Natural Vehicular con el fin de una presentación didáctica para los estudiantes de la Facultad de Tecnología Mecánica en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Conocer las pruebas del motor Willys con adaptación de un kit de gas natural en relación a sus reacciones de funcionamiento en el laboratorio de motores de combustión interna.

1.2. Objetivos específicos

- Seguir el protocolo de operación de freno disco en el laboratorio de motores.
- Evaluar la estabilidad en vacío operando con gasolina.
- Evaluar la estabilidad en vacío operando con gas natural.
- Evaluar la influencia de los parámetros de sincronización sobre la operación del motor trabajando en gasolina como en gas natural.

2. MARCO TEÓRICO

Actualmente los motores mecánicos están en los sectores del transporte, industria, comercio, etc. Por ende se darán algunos conceptos básicos.

Para que se pudiera dar este suceso del transporte masivo, se debe tener en cuenta algunos aspectos en el área de la mecánica automovilística tales como:

Mecánicos:

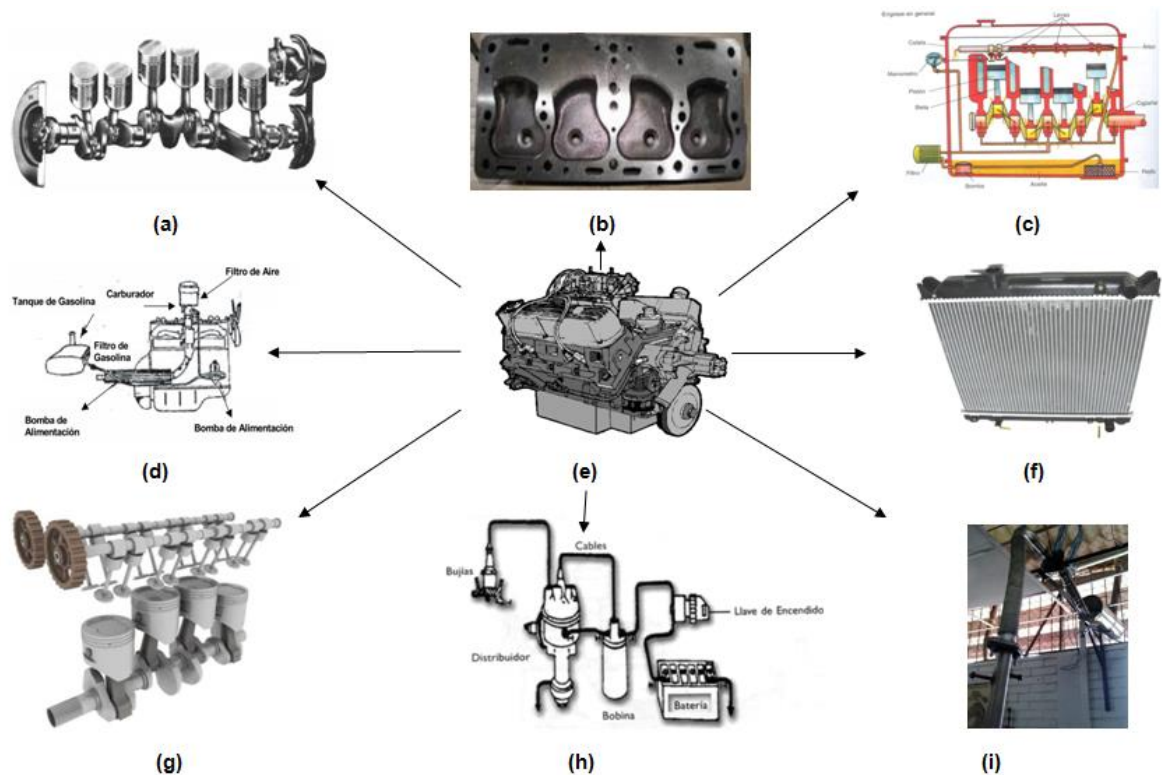
- Pistón pasante.
- Manivela deslizador.

Sistemas de:

- Alimentación.
- Encendido.
- Arranque.
- Refrigeración.
- Lubricación.
- Escape y tratamiento de gases de escape.

En la figura 1, muestra la interpretación de la lista anterior para el entendimiento del motor de combustión interna y algunos componentes básicos que posee.

Figura 1. Motor de combustión interna y sus componentes de funcionamiento básico



Fuente: elaboración propia

2.1. DEFINICIONES

Motor a gasolina

También conocido como motor de encendido por chispa, que en el transcurso de la combustión hace fácilmente la evaporización y mezcla con aire para ser comprimida dentro de los cilindros del bloque en el motor, esta mezcla que fue comprimida se es encendida mediante un arco eléctrico proporcionado por la bujía, es inducida por una corriente eléctrica de alto voltaje proveniente de la batería, que da la inercia para el sistema de encendido.

Motor a gas

En su estructura interna y el principio de funcionamiento no son diferentes a un motor a gasolina, los motores que van a ser conversión a gas natural son dotados de accesorios especiales con el fin de funcionar con combustibles gaseosos. Los gases utilizados son denominados GLP (Gas licuado de Petróleo), el componente básico es el gas propano, que también los usa el GNCV (Gas Natural Comprimado Vehicular).

Motor de combustión interna

Dado que, el motor de combustión interna (ver figura 1e) transforma la energía calórica del combustible que se esté empleando en energía cinética por el proceso de combustión, el resultado final de la energía cinética es la que permite que el vehículo posea su movimiento propio.

Estructura interna del motor

Todo motor debe constar con un óptimo funcionamiento para el vehículo automotor, para ello cuenta con al menos los siguientes mecanismos:

Conjunto móvil

Este conjunto móvil es el encargado de convertir el movimiento rectilíneo y alternativo del pistón en giratorio en el cigüeñal (ver figura 1a).

Culata

La culata o tapa de bloque de cilindros, está ubicada en la parte superior del motor, su fin es controlar la entrada y salida de los gases (ver figura 1b).

Distribución mecánica

Transmite y sincroniza el movimiento dado entre el conjunto móvil y el sistema de válvulas (ver figura 1g).

Sistema de enfriamiento del motor

Se encarga de mantener y controlar la temperatura adecuada operación del motor para óptimo funcionamiento (ver figura 1f).

Sistema de lubricación

Evita y reduce la fricción de las piezas en el motor, ayuda a evacuar el calor resultante y mantiene el motor limpio de suciedades (ver figura 1c).

Sistema de alimentación de combustible y aire (carburados)

Provee, mezcla y dosifica aire y gasolina para responder a las diferentes condiciones y exigencias de funcionamiento impuestas al motor.

Para los motores a gasolina, el combustible es almacenado en el tanque, es impulsado al sistema de dosificación (en este caso es carburador) mediante una bomba (mecánica o eléctrica) a través de los ductos y pasado por los filtros, en donde es depurado de suciedad y elementos extraños.

Posteriormente la gasolina es dosificada por medio de chicleros (en motores con carburador), y mezclada con el aire, que también ha sido previamente filtrado, ya en forma

de vapor la mezcla pasa del múltiple de admisión al interior del motor, donde es comprimida y se genera la combustión para producir el movimiento del motor (ver figura 1c).

Sistema de encendido

El sistema de encendido es el encargado de proveer, elevar y distribuir un arco eléctrico en forma de chispa para iniciar la combustión de la mezcla de aire – combustible previamente comprimida dentro de la cámara de combustión (ver figura 1h). Con las definiciones básicas dadas anteriormente, en un motor de combustión interno funcionando con carburador, se dará a conocer las características, especificaciones, capacidades, etc. del el tipo de motor que se implementara a la conversión de Gas Natural Comprimido Vehicular (GNCV).

2.2. CARACTERÍSTICAS, ESPECIFICACIONES, CAPACIDADES Y PESO DEL MOTOR¹

Se ilustrara a continuación la información completa del motor Willys modelo G1600, suministrada por Hercules Engine Company

2.2.1. Característica del motor G1600

A continuación se muestra la información de las características del motor G1600 mediante la tabla 1 con el fin de tener la información necesaria para el óptimo funcionamiento.

Tabla 1. Características del motor

DESCRIPCIÓN	CARACTERISTICA
Modelo	G1600
Motor a gasolina	4 cilindros
Bomba de combustible	Mecánica con una función en el elemento filtrante
Mecánica de velocidad	Variable
Bomba de agua	5,96 pulgadas por encima de C/L del cigüeñal
Filtro de aceite	Spin - on, tipo de flujo completo
Alternador	12 voltios, 37 amperios (negativo a tierra)
Arranque	12 voltios con electroválvula SAE #4 carcasa del volante
Volante	8 grados de embrague en seco (húmedo opcional)
Sistema de encendido	Distribuidor electrónico (BID), la bobina de encendido, bujías y cables
Tipo de aspiración	Ventilador de 17½ pulgadas y 6 cuchillas
Carburador de corriente ascendente	Con dispositivo anti diesel

Fuente: Hercules Engine Company

¹ Hercules Engine Company, basic engine model G1600, printed in USA, bulletin N° 1011

2.2.2. Especificaciones del motor G1600

En la tabla 2 se muestra las especificaciones del motor Willys, posteriormente se utilizara la información del orden de encendido para la conexión de la lámpara estroboscópica.

Tabla 2. Especificaciones del motor

DESCRIPCIÓN	CARACTERISTICA
Pulgadas cubicas de desplazamiento	163 pulgadas ³
Diámetro y carrera	4 pulgadas X 3¼ pulgadas
Numero de cilindros	4
Orden de encendido	1 - 3 - 4 - 2
Radio de compresión	7,5 : 1
Longitud	29,84 pulgadas
Altura	23,94 pulgadas
Ancho	20,94 pulgadas

Fuente: Hercules Engine Company

2.2.3. Capacidades del motor G1600

Las capacidades del motor Willys se resumen en tres:

- Sistema de refrigeración.
- Cáster del aceite.
- Máximo ángulo de inclinación por cáster de aceite.

En la tabla 3 se ilustra la descripción de las capacidades del motor G1600.

Tabla 3. Capacidades del motor

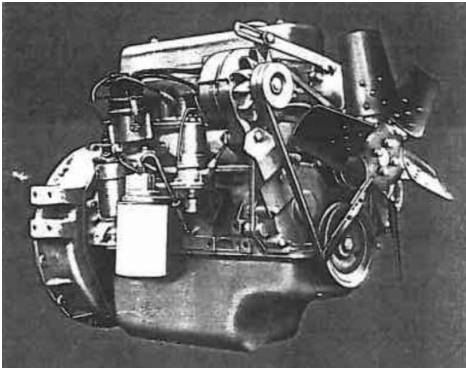
DESCRIPCIÓN	CARACTERISTICA
Sistema de refrigeración	Cabeza y bloque (cuartos de EE.UU) 3,3
Cáster del aceite	Cuartos (estándar de EE.UU), incluye un cuarto de filtro de aceite: 6,0
Máximo ángulo de inclinación por cáster de aceite	15° (grados)

Fuente: Hercules Engine Company

2.2.4. Peso del motor G1600

El motor básico del G1600 posee un peso de 420 lb (190.51 kg). El tipo de motor que se va a emplear para su previa conversión a gas natural vehicular (GNV) (ver figura 2).

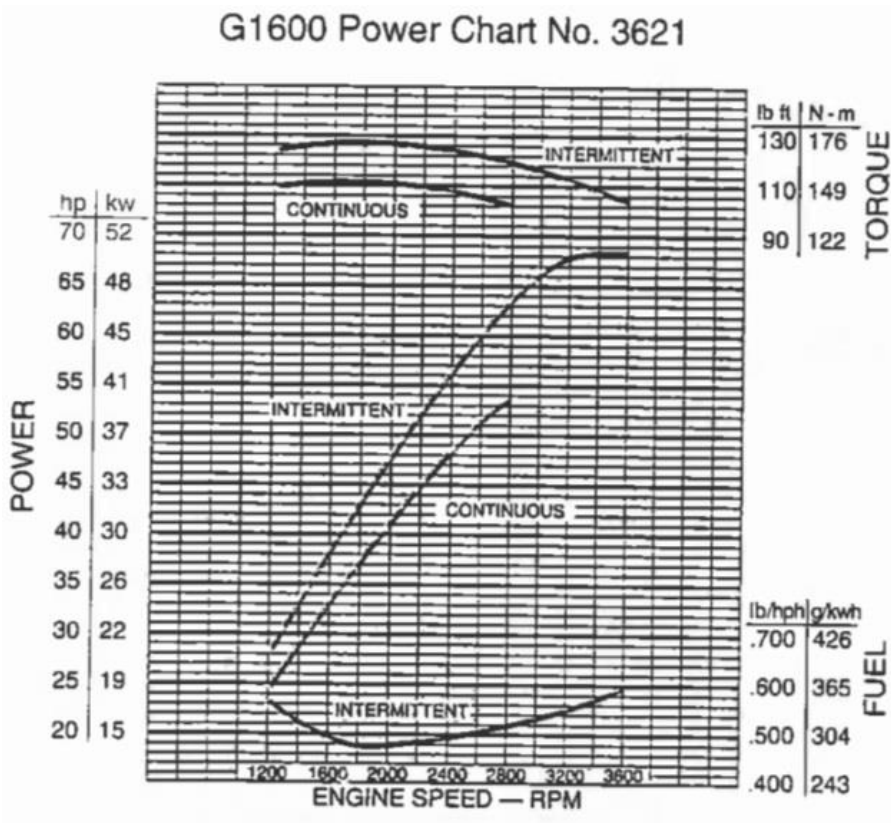
Figura 2. Motor G1600



Fuente: Hercules Engine Company

La curva característica que posee el motor Willys G1600, como se muestra en la figura 3 se compone de un funcionamiento básico de mayor aceleración, mayor será la potencia. Pero al alcanzar la máxima aceleración la potencia es sostenida, es decir, solo llega a un máxima de valor aproximado de 68 Hp (Horse power) de potencia.

Figura 3. Curva de potencia del motor G1600



Fuente: Hercules Engine Company

Dado la información anterior, se procederá a describir los accesorios que van a ser implementados en el motor G1600, es decir, el kit del gas natural comprimido vehicular (GNCV).

2.3. EQUIPOS DE CONVERSIÓN A GAS NATURAL

Los equipos de conversión originales de fábrica son diseñados y seleccionados de acuerdo al motor a convertir, por lo cual hay que tener claridad que todos los equipos varían de motor a motor, y no se debe generalizar el uso de una sola referencia o modelo de equipo de conversión, sin embargo, los componentes de kit de conversión son similares y el número de componentes normalmente es el mismo sin importar si el motor es carburado (ver tabla 4).

Tabla 4. Componentes de equipos de conversión²

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTE	TIPO DE MOTOR	
	INYECTADO	CARBORADO
Cilindro de GNCV	Si	Si
Válvula de cilindro	Si	Si
Válvula de llenado	Si	Si
Válvula de cierre manual	Si	Si
Reductor / Regulador	Si	Si
Electroválvula de gas	Si	Si
Electroválvula de gasolina	No	Si
Tubería de alta presión	Si	Si
Mangueras de baja presión	Si	Si
Mezclador	Si	Si
Variador de avance de encendido	Si	Si
Emulador de inyección	Si	No
Sistema Lambda de control de mezcla	Si	No
Selector de combustible	Si	Si
Indicador de carga y cableado eléctrico	Si	Si
Soporte para cilindros	Si	Si

Fuente: Gas Natural Comprimido Vehicular

² Gas natural comprimido vehicular – conversión y post conversión P.2.

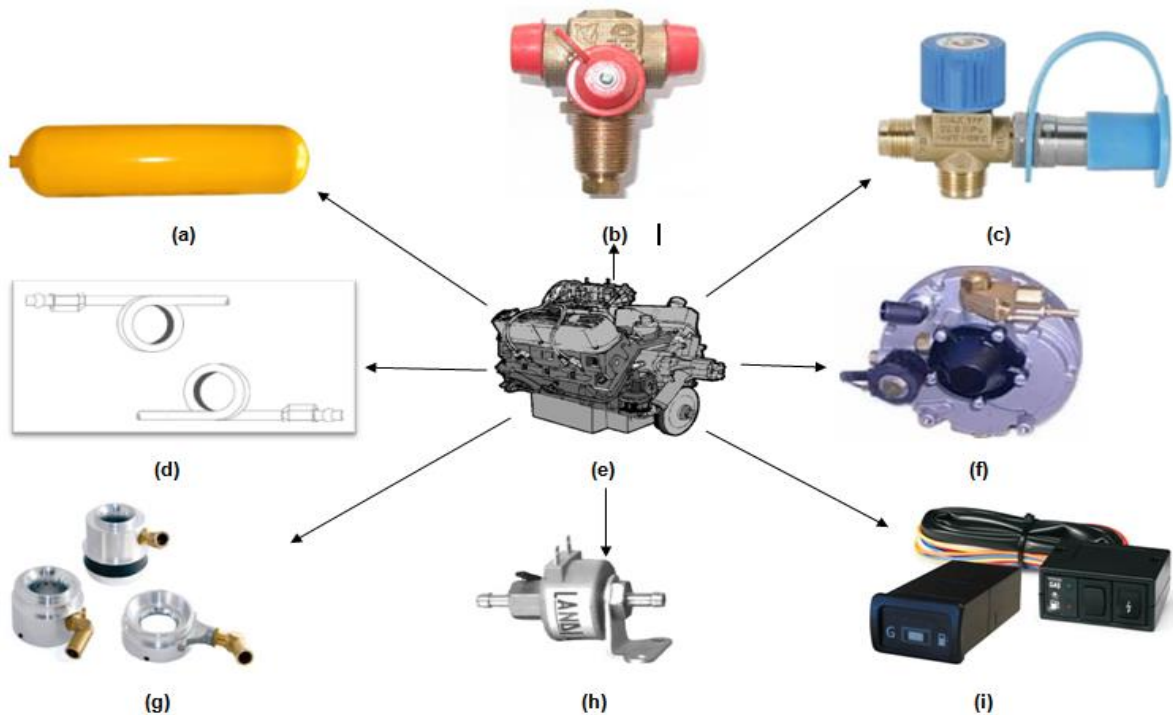
Para el motor carburado que se va a desempeñar en la conversión de gas natural comprimido vehicular son necesarios los siguientes componentes:

- 1) Cilindro de almacenamiento con sus accesorios.
- 2) Válvula de cilindro.
- 3) Válvula de cierre manual 90° de rotación.
- 4) Válvula o sistema de alivio.
- 5) Válvula de llenado.
- 6) Control de flujo.
- 7) Tubería de alta presión.
- 8) Regulador / reductor de presión.
- 9) Válvula eléctrica de corte de combustible automática.
- 10) Válvula eléctrica de corte de GNCV.
- 11) Válvula de cierre de emergencia.
- 12) Manómetro de presión.
- 13) Tubería de baja presión
- 14) Mezclador GNCV – aire.
- 15) Dispositivo electrónico de control de avance.
- 16) Conjunto indicador de nivel.
- 17) Sensor de la rotación del motor.
- 18) Selector de combustible.

Los anteriores componentes deberán ser instalados cumpliendo las normas de seguridad, para reducir daños en la operación normal y ante situaciones de impacto (accidentes), fuego o chispas, etc.

A continuación se apreciara los componentes de conversión a gas natural vehicular.

Figura 4. Motor de combustión interna con sistema de gas natural vehicular



Fuente: Elaboración propia

Cilindro de almacenamiento

Es un recipiente que sirve para almacenar el combustible GNCV (Gas Natural Comprimido Vehicular) a alta presión, aproximadamente de 205 bar³ (3.000 PSI); se almacena a esta presión para dar mayor autonomía al vehículo, su forma es cilíndrica y convexa en los extremos, y la presentación más utilizada del tamaño es de 15 y 25 metros cúbicos.

Los cilindros ya terminados son prácticamente indestructibles aún ante fuertes impactos, y antes de su uso son sometidos a pruebas destructivas y no destructivas bajo 15 condiciones extremas de colisión, explosión y hermeticidad (4.500 PSI) a diferentes temperaturas. Luego son probados unas 40.000 veces con cargas y descargas de gas a la presión de trabajo, para confirmar el factor de seguridad. Finalmente son marcados en frío (ver figura 4a).

Entre las diferentes pruebas a que son sometidos los cilindros de GNCV para su aceptación, se realizan pruebas destructivas, entre las cuales están:

- 1) La prueba de fatiga o resistencia a esfuerzos cíclicos, cuyo procedimiento es muy exigente.
- 2) La prueba a presión hidráulica

³ 1 bar – 14.5 PSI

En estas pruebas se seleccionan muestras de un lote.

Característica física del cilindro de almacenamiento

Los cilindros para mejor eficiencia y mayor resistencia se fabrican de forma esférica cumpliendo las siguientes características (ver tabla 5).

Tabla 5. Características del cilindro de almacenamiento

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Material	Acero
Aleación	Cromo - Níquel Molibdeno
Presión de prueba	300 bar (4500 PSI)
Capacidad	15 a 32 m ³
Presión de llenado	200 bar (3000 PSI)
Diámetro	403mm
Longitud	900 a 2200 mm
Peso	40 a 120 Kg

Fuente: Gas Natural Comprimido Vehicular

En el cilindro, independiente de la posición de la válvula de cierre manual, este sistema deja salir el gas del cilindro cuando se alcanza determinadas temperaturas y presiones.

El sistema de alivio se acciona cuando la presión sobrepasa los 250 bar (3.600 PSI). Si el cilindro tiene una longitud mayor de 1.600 mm, se debe tener sistema de alivio en ambos extremos (ver figura 4b).

Dentro de lo cual se deberán tendrán en cuenta el sistema de exceso de flujo y sistema de venteo.

Sistema de exceso de flujo

Para el control de fugas en caso de ruptura de la línea de alta presión o de uno de las componentes del sistema (GNCV), la válvula de cierre manual debe tener incorporada una válvula de exceso de flujo que impida o limite la descarga del gas almacenado en el cilindro a la atmosfera.

Sistema de venteo

Todos los cilindros ubicados dentro de los vehículos deben estar aislados del compartimiento de los pasajeros, y dotados de un sistema de ventilación o aireación para orientar las posibles fugas de gas hacia el exterior, el sistema de venteo debe proteger la válvula de escapes de GNCV a través de ella.

Válvula de llenado

Dispositivo instalado normalmente en el habitáculo del motor, entre el cilindro y el regulador/reductor. En los vehículos largos puede ubicarse en un costado del mismo, pero siempre en un sitio que brinde las condiciones de seguridad requeridas, esta válvula puede ir montado conjuntamente con la válvula manual de cierre del cilindro (ver figura 4c).

Funcionamiento de la válvula

Mientras no se ejecute la acción de llenado, la válvula interna de retención sella la salida del gas hacia la atmósfera. Cuando se está llenando el (los) cilindro (s), se presiona la válvula de retención (válvula cheque) abriendo el paso de gas hacia el sistema, el gas fluye al interior de los cilindros por diferencia de presiones.

Tubería y manguera

En los sistemas de motores convertidos a GNCV, encontramos principalmente cuatro (4) tipos de tuberías o mangueras.

- Tubería de alta presión.
- Tubería o manguera de baja presión.

Tubería de alta presión para GNCV

Su funcionamiento es comunicar entre sí a los cilindros de almacenamiento con los diferentes elementos del equipo y permitir el paso del GNCV hacia el regulador/reductor, en la línea de alta presión se instala la válvula de llenado y el manómetro indicador de presión.

Las normas técnicas exigen que las tuberías de alta presión (ver figura 4d) cuenten con sistemas que permitan un pequeño movimiento, este sistema consiste que sobre la tubería de alta presión a la salida de la válvula de los cilindros y antes de la válvula de llenado, el mecánico instalador realiza unas espiras o lazos (cola de marrano) de aproximadamente 70 mm de diámetro que permiten:

- Movimiento estructural para absorber vibraciones.
- Evitar un estrangulamiento o rotura en caso de impactos o choques.
- Absorber expansión o dilatación térmica.
- Facilitar instalación dando flexibilidad al sistema.

Características físicas

Para seguridad del funcionamiento del sistema y prevención de daños por defectos principales de vibraciones generados por los motores de combustión interna la tubería de alta presión deben tener las siguientes características (ver tabla 6).

Tabla 6. Características tubería de presión

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
-------------	-----------------

Presión	900 bar (14000 PSI)
Espesor de pared	1 – 1.5 mm
Diámetro exterior	6 mm
Material	Acero inoxidable o acero al carbono con baño galvanizado
Conjunto de pieza	Una pieza y sin costuras
Recubrimiento	PVC
Función de recubrimiento	Protección contra vibraciones

Fuente: Gas Natural Comprimido Vehicular

Manguera de baja presión para GNCV

Normalmente se instalan mangueras de neopreno con refuerzos de acero y resistentes a la alta corrosión que produce el combustible, su función es la de permitir que el GNCV pase del regulador/reductor al mezclador.

En los vehículos carburados, se instala un flujo de control máximo que es graduado por tornillo para regular la cantidad de GNCV requerido en marchas medias y altas, la longitud total desde el regulador/reductor hasta el mezclador no debe sobrepasar de 75 cm.

Regulador/reductor de alta presión

Mecanismo que reduce la presión del GNCV que llega del cilindro de almacenamiento a 205 bares (3.000 PSI), para entregarlo al mezclador a valores cercanos a la presión atmosférica.

Dependiendo del valor de la presión manométrica medida a la entrada del mezclador, el sistema puede ser de presión positiva o presión negativa, así:

- Presión positiva: 1,5 bar (22 PSI)
- Presión negativa: 0,5 bar (7 PSI)

La mayoría de fabricantes construyen el regulador/reductor de un solo cuerpo en dos o tres etapas (figura 5), en las cuales se suceden las caídas (reducción) de presión, pero sin importar si el regulador/reductor es de uno o más cuerpos interconectados y si es de dos o tres etapas, el principio de funcionamiento de todos los reguladores/reductores es el mismo.

El factor más importante a considerar para seleccionar un regulador/reductor (ver figura 4f), es el que pueda suministrar la cantidad de GNCV suficiente para cubrir la demanda del motor, en cualquier régimen de operación.

El rango de demanda que debe cubrir el regulador/reductor, está en función de:

- La cilindrada del motor expresada en centímetros cúbicos (cm³).
- Potencia del motor

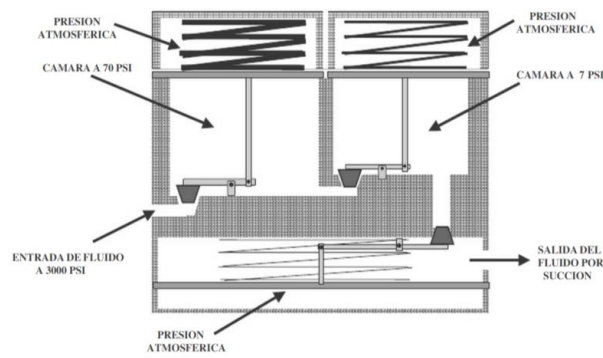
- Relación de compresión.

Si el motor es carburado o inyectado, encendido convencional (platinos) o electrónico, las características más relevantes para la selección del regulador/reductor son la cilindrada y la potencia.

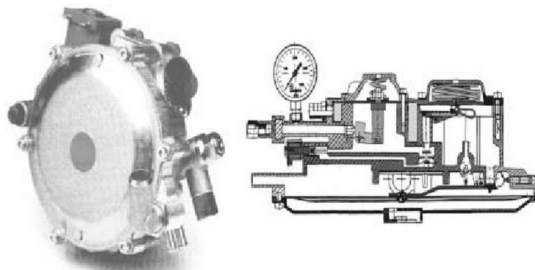
Funcionamiento

El regulador/reductor está formado por 2 o 3 cámaras. Cada cámara está conectada a la siguiente por un conducto cerrado por una válvula; el paso a cada etapa permanece abierto todo el tiempo. El gas entra a la cámara y defleca el diafragma, venciendo la resistencia del resorte (ver figura 5a).

Figura 5. Funcionamiento de las cámaras del regulador/reductor



(a)



(b)

Fuente: Gas Natural Comprimido Vehicular

Al deflektarse el diafragma se cierra la válvula de entrada y el gas pasa a la siguiente cámara. Es por ello que la caída de presión es cíclica, es decir, después de vencer la resistencia del diafragma de cada cámara, se cierra la válvula de entrada y el gas pasa a la siguiente etapa y no ingresa nuevo gas a la cámara hasta que pasa a la siguiente. Al desocuparse la cámara el diafragma vuelve a su posición inicial y permite nuevamente la entrada de gas. En la última etapa cuando se crea un vacío relativo (proveniente del motor)

la membrana de esta cámara tiende a plegarse, permitiendo el paso de gas hacia el múltiple de admisión, a mayor vacío, mayor flujo.

Como el regulador/reductor está conectado al sistema de refrigeración se deben tomar las medidas de seguridad para que nunca se presenten fugas, ya que se pueden congelar las partes del regulador/reductor por efecto de la expansión del gas.

Cebador

Es un dispositivo electrónico (válvula electromagnética) que al accionarse permite el flujo de una cantidad adicional de gas al mezclador o carburador para facilitar la arrancada y con ello el vacío necesario para el funcionamiento del regulador/reductor.

Es una válvula normalmente cerrada, y cuando se acciona electrónicamente se abre, permitiendo que por diferencia de presión fluya el gas.

Inyector de sobremarcha

Dispositivo que permite aumentar el suministro de gas al motor cuando éste se acelera a fondo, funciona conjuntamente con la válvula de la última etapa del regulador/reductor, pero solo cuando el vacío en la última es muy bajo.

El inyector permite que en una situación de alta demanda de combustible, el regulador/reductor pueda entregar todo el combustible necesario; pero en una situación de baja demanda (motor en mínima o ralentí) el regulador/reductor suministra solo la pequeña cantidad que requiere el motor.

La cantidad de combustible que suministra el inyector desde el momento en el cual comienza a actuar, es proporcional a la aceleración, lo que permite una respuesta siempre adecuada a la sobremarcha.

Válvula de cierre activada por vacío

Como una medida de protección, a la última cámara de algunos reguladores/reductores se le coloca un resorte que actúa sobre la válvula de la última etapa y una cámara adicional que va conectada al vacío del motor, la cual lleva una membrana que actúa contra un resorte.

Cuando el motor no está funcionando, no hay vacío en la cámara de seguridad y por acción del resorte se mantiene cerrada la válvula. Cuando el motor está funcionando, el vacío en la cámara de seguridad hace que se retire la acción del resorte y el regulador/reductor funciona normalmente. Este dispositivo solo existe en reguladores/reductores de presión positiva.

Tornillo de graduación de flujo de gas

Es un tornillo que actúa directamente sobre la palanca de la válvula de la última etapa y de mayor a menor sensibilidad a la respuesta del regulador/reductor con relación al vacío proveniente del motor (mezclador o carburador), en algunos de los casos existen dos tornillos de regulación, unos de paso amplio y uno de paso fino, para una mayor precisión.

Dosificador

Elemento de forma tubular simple o a veces en forma de “Y” que va instalado en la manguera que une el regulador/reductor y el mezclador. Está provisto de un tornillo que permite graduar el flujo para dosificar el gas.

Mezcladores

Dispositivos que mezcla adecuadamente el GNCV con aire para que el motor funcione óptimamente en todos los regímenes y exigencias de carga, fabricado con un material apto para este fin e instalado en la línea de baja presión, debe quedar ubicado entre el filtro del aire y el carburador o entre el filtro del aire y el cuerpo de mariposa, si es inyectado (ver figura 4g).

Dadas las características particulares de cada vehículo, se puede afirmar que hay un tipo o modelo de mezclador para cada uno de ellos. Los fabricantes de equipos (kits) de conversión disponen de manuales donde muestran el mezclador apropiado para cada vehículo por marca, modelo, año y cilindrada.

Clasificación de los mezcladores

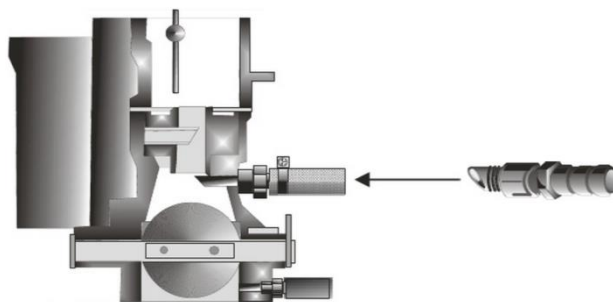
En el mercado encontramos varios tipos de mezcladores, los cuales se pueden clasificar de acuerdo a su forma de construcción (geometría) y su aplicación.

Para este caso en esencia solo se hablara para motores carburados.

Tipo tubo

También llamado tipo promiscuo (ver figura 6). Se usa generalmente en los carburadores de una sola boca, para instalarlo es necesario perforar el carburador, la perforación debe realizarse un poco por debajo del venturi. Para evitar la entrada del aire, es necesario que la unión entre el tubo del mezclador y el carburador sea roscada y con sellante.

Figura 6. Mezclador tipo tubo o promiscuo



Fuente: Gas Natural Comprimido Vehicular

Tipo chapa superior

Se coloca entre la boca del carburador y el filtro del aire, este tipo de mezclador es el más aconsejable porque facilita su instalación, un inconveniente es su altura, ya que al quedar más alto el filtro de aire puede impedir que cierre la tapa del motor (ver figura 7).

Figura 7. Mezclador tipo chapa superior

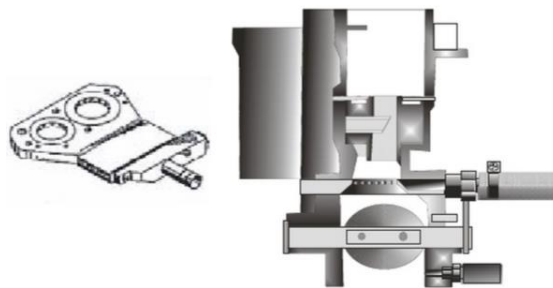


Fuente: Renault fuego site

Tipo chapa inferior

Este mezclador está formado por una plancha que tiene la forma de la base del carburador, y por los tubos que generalmente son del tipo promiscuo, los cuales están integrados a un anillo venturi. En algunos modelos, los anillos en lugar de tubos poseen una serie de pequeños orificios en la parte de máximo estrangulamiento, ubicados entre el carburador y el múltiple de admisión (ver figura 8).

Figura 8. Mezclador tipo chapa inferior



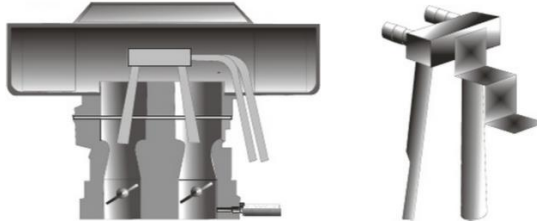
Fuente: Gas Natural Comprimido Vehicular

Tipo horquilla

Este tipo de mezclador se puede colocar en todo tipo de carburador, logrando que la extremidad de la horquilla entre por el punto más estrecho del tubo venturi. Los tubos de

aspiración del gas no tienen que atravesar el elemento filtrante sino la base de la carcasa del filtro del aire (ver figura 9).

Figura 9. Mezclador tipo horquilla



Fuente: Gas Natural Comprimido Vehicular

Electroválvulas de combustible

Son dispositivos cuya función principal es la de cerrar o abrir el paso de combustible por medio de una señal eléctrica enviada desde el panel de instrumentos.

Para ello los equipos de conversión de GNCV – gasolina incluyen dos electroválvulas.

- Válvula solenoide de corte de gas.
- Válvula solenoide de corte de gasolina.

Estas válvulas, evitan además la mezcla del combustible original y el GNCV cuando se hacen los cambios de un combustible a otro.

Electroválvula de GNCV

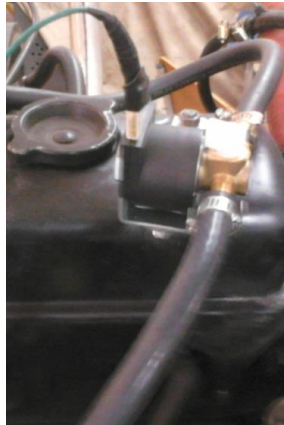
Solenoide eléctrico (ver figura 4h) controlado por el selector de combustible e instalado en la línea de alta presión o en la entrada al regulador/reductor. La válvula cierra automáticamente el paso de GNCV hacia la segunda cámara o etapa o en algunos casos a la primera etapa del regulador/reductor, cuando el conmutador se pasa a la posición de operación con gasolina.

La electroválvula de gas se encuentra en la mayoría de los casos integrada al regulador reductor.

Electroválvula de gasolina

Solenoide eléctrico (ver figura 10) controlado por el selector de combustible. Interrumpe el flujo de gasolina cuando el motor está trabajando con GNCV, y está dotada de una llave de apertura manual de cierre rápido para casos de emergencia o falla del sistema eléctrico.

Figura 10. Electroválvula de gasolina



Fuente: Elaboración propia

La electroválvula de gasolina se instala entre la bomba de combustible y el carburador.

Selector de combustible

Es básicamente un interruptor que controla las válvulas solenoides de cierre de gas y de gasolina. Esto permite escoger el tipo de combustible para suministrarlo al motor. Se coloca en el tablero de instrumentos, además, debe permitir unas condiciones (posiciones) para cuando se realiza el cambio de combustible, como son:

Posición a: Gasolina. La válvula de gasolina permanece abierta y la del gas cerrado, se usa para el funcionamiento con gasolina.

Posición b: cambio de gasolina a gas. Tanto la válvula de gas como la de gasolina están cerradas, esto permite que el depósito del carburador se vacíe y de esta forma, cuando se haga el cambio a gas, el carburador no suministre gasolina, evitando que cause problemas a la mezcla. Cuando se va a cambiar de gasolina a gas se debe pasar a esta posición y mantenerla hasta que el motor comience a funcionar en forma irregular.

Posición c: Gas. La válvula de gasolina permanece cerrada y la del gas abierto, se usa para el funcionamiento con gas.

Posición d: Cambio de gas a gasolina. Tanto la válvula de gas como la de gasolina están abiertas, permitiendo que el tanque del carburador se llene, de forma que cuando pase a la posición (a) y se corte el suministro de gas, el carburador tenga suficiente combustible para suministrar y pueda mantener el motor en funcionamiento.

Selectores manuales

En el mercado se encuentran diferentes modelos de selectores, todos basados en el mismo principio de funcionamiento pero con algunos accesorios:

Selectores de un solo paso

En estos selectores las posiciones (b) y (d) se realizan automáticamente. El selector tiene las posiciones “gas” y “gasolina” y al pasar de una a otra, la señal que va para la válvula de gasolina (encendido o apagado) se produce inmediatamente, mientras que la señal que va para la válvula de gas demora un corto periodo de tiempo antes de apagarse, o viceversa.

Selectores con botón para cebador

Para los reguladores/reductores que tiene dispositivo cebador se colocan selectores que incluyen un botón que permiten que, mientras esté pulsado, permanezca activada la electroválvula del ahogador (ver figura 4i).

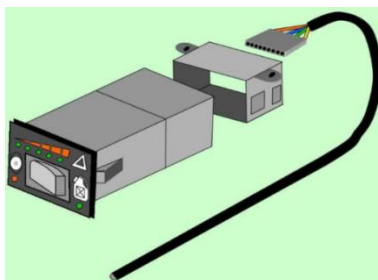
Selectores automáticos

Tanto la función como la ubicación son similares a la de los selectores manuales. La diferencia entre los dos selectores radica en la forma de funcionamiento. El funcionamiento del selector automático se realiza de la siguiente manera:

Cada vez que se enciende el motor, el selector se encuentra en la posición del combustible original (gasolina), y solo después de acelerar el motor el selector pasa a la posición GNCV. En algunos casos, y dependiendo de la temperatura del refrigerante el cambio se hace automáticamente, cuando el motor ha alcanzado la temperatura de funcionamiento. No existen diferentes posiciones, solo un botón que, cuando es presionado, hace el cambio de combustible; es decir, pasa a GNCV (si el motor está funcionando a Gasolina), o a Gasolina si el vehículo se encuentra a GNCV.

También en forma automática se hace el cambio de GNCV a Gasolina, cuando la presión en los cilindros es inferior a la requerida para un correcto funcionamiento (el tarado de la presión se encuentra determinado por el fabricante). La ventaja de este tipo de selector, es que se pueden hacer los cambios de combustible, con el vehículo en marcha y a cualquier velocidad (ver figura 11).

Figura 11. Selector automático



Fuente: grifos y estaciones de GLP y GNV

Variador de avance del encendido (Avance de chispa)

Es un dispositivo electrónico encargado de mejorar el funcionamiento del sistema de encendido cuando el motor trabaja con el combustible GNCV. El dispositivo varía la

cantidad de grados para salto de la chispa, anticipándola unos 10° más de lo normal, esto por la dificultad de encendido que tiene la mezcla aire – GNCV, debido a la menor velocidad de propagación de la llama que en la mezcla aire – gasolina.

Accesorios

Los accesorios están constituidos por:

Uniones para tubería (racores)

Conocidas también como conectores, son del tipo manguito, fabricados en aceros inoxidable o al carbono, rosca de M12x1 o M12x1.25 y un anillo del mismo material (ver figura 12).

Figura 12. Racor para gas natural



Fuente: RS A Strong Brand in Your System

Conjunto indicador de nivel (manómetro)

Los medidores de presión de gas, también llamados medidores de nivel de gas, son dispositivos que permiten controlar la cantidad de gas existente en los cilindros mediante la medición de la presión existente entre ellos.

Medidores de lectura directa

Son manómetros convencionales que están colocados sobre la línea de alta presión y poseen un indicador que permite hacer la lectura directa de la presión en los cilindros, esta es colocada cerca de la válvula de llenado.

Medidores electrónicos

Un transductor convertidor electrónico, se instala en la línea de alta presión y convierte la señal de presión en una señal eléctrica. El indicador, recibe la señal eléctrica e indica el nivel de gas remanente, generalmente en forma digital, mostrando en forma gráfica la fracción de combustible que existe en el cilindro.

Medidores combinados

Son iguales a los medidores electrónicos, pero además tiene un indicador colocado junto al transductor que permite hacer una lectura rápida de la presión (ver figura 13).

Figura 13. Indicador de presión combinado



Fuente: GASITALY

Mangueras de venteo

Son flexibles y resistentes a altas temperaturas, la función que cumplen es la de evacuar al gas si se llega a presentar fallas del sistema y con ello fugas de gas; solo se usan cuando los cilindros se instalan dentro del habitáculo de pasajeros del vehículo o en el portamaletas.

Instalación de la interfaz para el sistema de comunicación (microchip)

Componente electrónico que se instala en el vehículo para identificar todas las características del equipo de conversión, financiación, identificación de los cilindros, fecha última de re-inspección, pruebas, etc., con la finalidad de realizar un control eficiente y confiable del vehículo y un seguimiento adecuado del programa de reconversión general.

Mangueras para agua

Se conectan entre el regulador/reductor y el sistema de refrigeración del motor, van acompañadas de acoples y abrazaderas que permiten su instalación y evitan fugas. Deben ser resistentes a los cambios de temperatura y no cristalizarse. Deben quedar instaladas, alejadas de puntos calientes o de mecanismos que estén en movimiento.

3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN

Para la obtención de valores de potencia, temperatura y otros parámetros mencionados anteriormente, es necesario utilizar los siguientes instrumentos y equipos de medición.

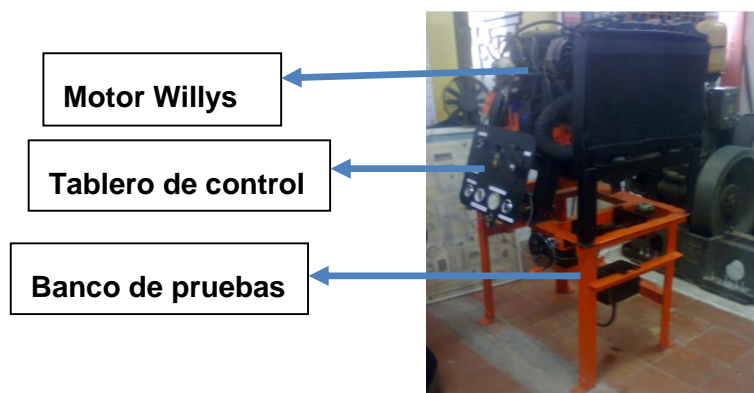
3.1. INFORMACIÓN GENERAL

A continuación se dará una descripción detallada de la función que cumple cada uno de los instrumentos y componentes que forman parte del montaje experimental para la medición y monitoreo de las variables de operación al efectuar variaciones de aceleración y accionamiento del freno en movimiento en el motor G1600 de cuatro tiempos, además se detallara las modificaciones realizadas en el motor G1600 con instalación del kit de gas natural comprimido vehicular (GNCV)⁴.

3.1.1. Banco de pruebas para el motor G1600

En la figura 14 se mostrara la ubicación y el banco de pruebas el cual se sostiene el motor Willys.

Figura 14. Banco de pruebas del motor G1600⁵



Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna UTP

El trabajo de grado de los alumnos Arturo Valencia Espinosa y Hernán Felipe Gonzales Marmolejo titulado “medición de torque en el eje de salida de un motor de combustión interna alternativo”, fue donde se realizó este montaje de banco de pruebas para la facilidad de mediciones de rpm, temperatura del motor, medición de presión manométrica, etc. Posteriormente se realizaron más pruebas y algunas modificaciones en el mismo motor que se describirán más adelante de este capítulo.

⁴ GNCV – Gas Natural Comprimido Vehicular

⁵ Accesorios de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), laboratorio de motores de combustión interna

3.1.2. Especificaciones y ubicación del extractor de aire E.M.I.

Especificaciones del extractor de aire E.M.I.

Para la refrigeración del freno del disco del motor Willys G1600 utilizado para variar la carga del motor, se utilizó un extractor de la compañía E.M.I. (ver figura 15), con el fin de evitar el calentamiento del disco y daños al motor, las especificaciones se muestran en la tabla 7.

Figura 15. Extractor de aire E.M.I.⁶



Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna UTP

Tabla 7. Especificaciones del extractor de aire E.M.I.

CARACTERÍSTICAS	
Caudal	1300 m ³ /h
Presión	1,05 bar
Velocidad	(850 a 3400) rpm
Potencia	1,4 hp
Amperaje	3,15 kΩ
Voltaje monofásica	(220/440) V
Lote	291112
DIAM	500/20"

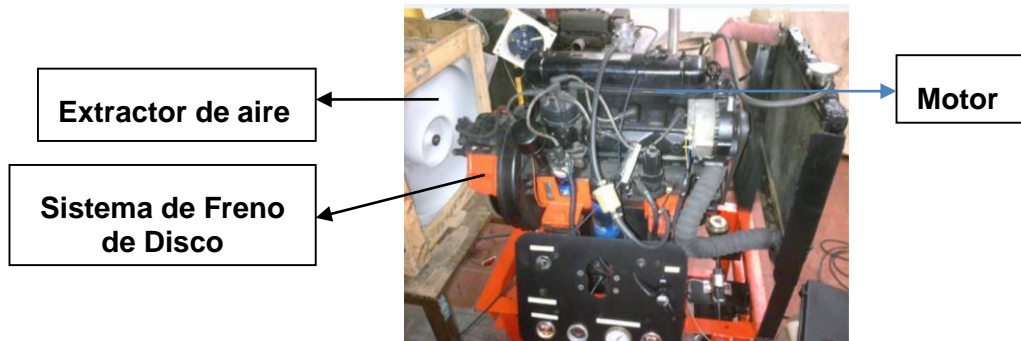
Fuente: E.M.I.

Ubicación del extractor de aire E.M.I.

En la figura 16 se muestra la ubicación del extractor del aire que fue usado para la prevención de sobrecalentamiento del disco del freno.

⁶ Accesorios de la UTP Op. Cit., p. 38

Figura 16. Ubicación del extractor de aire⁷



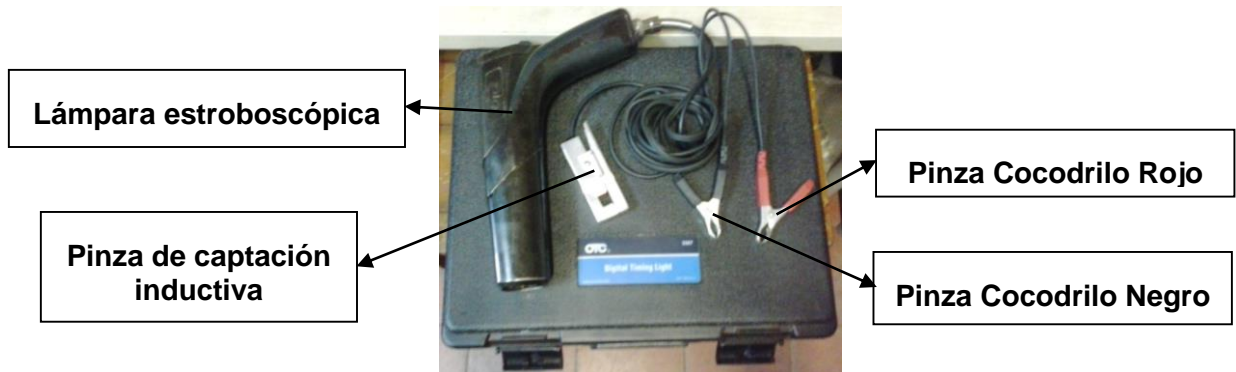
Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna UTP

3.1.3. Especificaciones, procedimiento de instalación y manejo de la luz de sincronización

Especificaciones de luz de sincronización.

Para la medición de revoluciones por minuto (RPM), fue necesaria la utilización del instrumento luz de sincronización OTG, también llamada lámpara estroboscópica (ver figura 17), en la tabla 8 están las especificaciones de lámpara estroboscópica.

Figura 17. Lámpara estroboscópica⁸



Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna UTP

⁷ Accesorios de la UTP Op. Cit., p. 39

⁸ Accesorios de la UTP Op. Cit., p. 39

Tabla 8. Especificaciones de la lámpara estroboscópica

CARACTERISTICAS	
Tipo	Luz de sincronización
Numero serial	3367
Instrumentación	Digital
Marca	OTG
Numero de pinzas	3
Medición RPM	Si
Medición avance	Si
Operación de tiempos	Si

Fuente: Luz de sincronización OTG

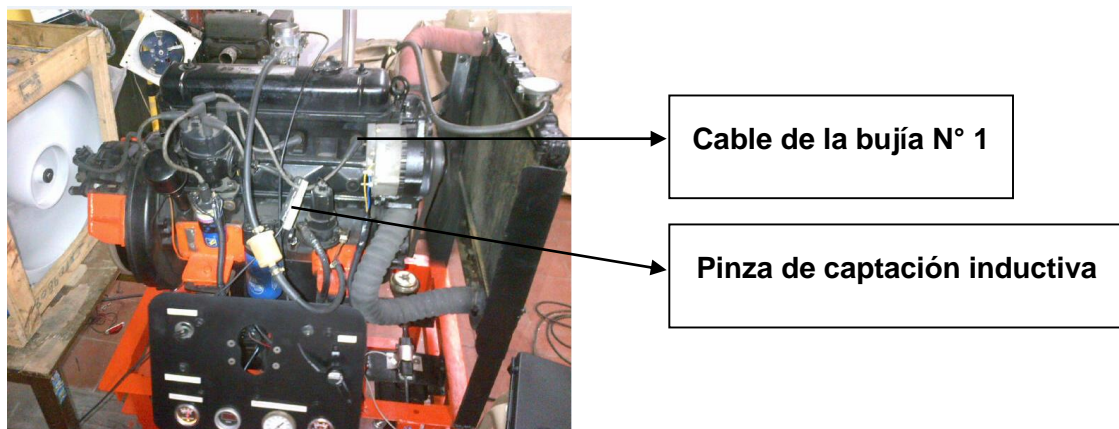
Procedimiento de instalación.

Para la conexión de la luz de sincronización, es necesario lo siguiente:

En la figura 18 se muestra el modo de instalación y conexión de la lámpara estroboscópica al motor G1600, la pinza de captación inductiva a la bujía N° 1 del motor (ver figura 18a), la pinza cocodrilo Roja al positivo de la batería y la pinza cocodrilo Negra al negativo de la batería o a la masa del banco de pruebas (ver figura 18b).

A continuación se mostrara la ubicación de lámpara estroboscópica que fue usada para la medición de revoluciones por minuto (RPM) en el motor Willys G1600.

Figura 18. Instalación de la pinza inductiva y las pinzas cocodrilo negro y roja



(a)



Pinza cocodrilo negra

Pinza cocodrilo roja

(b)



Lámpara estroboscópica
en funcionamiento

(c)

Fuente: Elaboración propia

Los pasos a seguir para la instalación son:

a) Detener el motor del vehículo.

Advertencia: La conexión de cables con el motor en marcha podría ocasionar graves lesiones.

b) Conectar la pinza de captación en la línea de la bujía N° 1.

c) Conectar las pinzas cocodrilo ROJA y NEGRA en la masa del banco de pruebas.

Importante: No permita que el captador inductivo toque el colector de escape o las pinzas vecinas, cuando están calientes, cierre lentamente las mordazas del captador inductivo para evitar dañarlas.

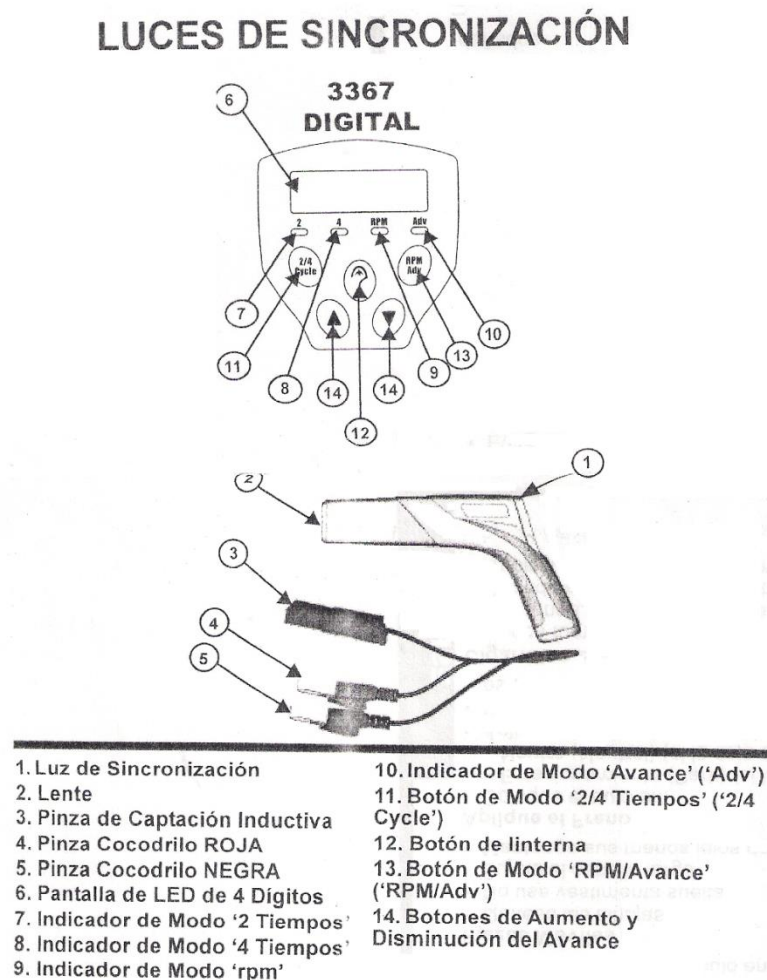
d) Localice las marcas de regulación en el motor.

- e) Seleccione OPERACIÓN DE 2/4 TIEMPOS ('2/4 cycle') (Luz de Sincronización Digital Únicamente).

Manejo adecuado de la lámpara estroboscópica.

Para la adecuada utilización de la luz de sincronización se muestra de forma detallada como se debe emplear su funcionamiento en el motor Willys, tal como lo muestra en la figura 19 el esquema de la luz de sincronización.

Figura 19. Esquema de las luces de sincronización



Fuente: Luz de sincronización OTG

Los pasos a seguir para empezar a medir las RPM son:

- 1) Oprima y libere el botón (13), como está señalada en la figura 36 (Botón de modo 'RPM/Avance') ['RPM/Adv']

- 2) Acelere el motor en un mínimo lapso de tiempo, automáticamente en el display empiezan a aparecer en número de RPM provenientes del motor de combustión interna.

Importante. Si el motor no está en marcha o la bujía N° 1 no enciende, la pantalla de la luz de sincronización destellara, indicando que no se está recibiendo ninguna señal inductiva por parte del motor de combustión interna.

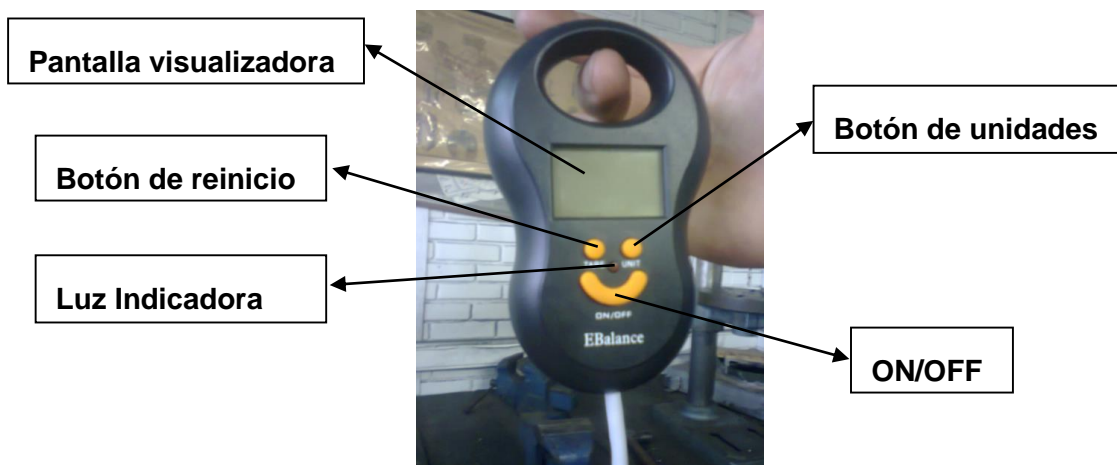
3.1.4. Especificaciones, procedimiento de instalación y manejo de la balanza

Para utilizar este instrumento de medición, fue necesario extraer la celda de carga de la balanza Ebalance, con el fin de poder ser situado en la mordaza del freno de disco.

Especificaciones de la balanza

Para la medición de la carga ejercida de las pastillas del freno al disco del freno, fue necesaria una celda de carga para tener mayor exactitud en la presión, el cual lo posee la balanza de la figura 20.

Figura 20. Balanza⁹



Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna UTP

⁹ Accesorios de la UTP Op. Cit., p. 43

Tabla 9. Especificaciones celda de carga

CARACTERISTICAS	
Tipo	Balanza
Marca	Ebalance
Carga	50Kg/10g
Resolución	10 gramos

Fuente: Ebalance

Nota: la balanza Ebalance posee una medida máxima sin errores de 50Kg con una resolución de medida de 10g, si el valor mencionado es sobrepasado, las medidas resultantes se verán afectadas haciendo que el valor no sea coherente.

Procedimiento de instalación

Para la utilización de la celda de carga, es necesario extraer la celda de carga que posee en el interior de la balanza Ebalance (ver figura 21).

Figura 21. Celda de carga tipo viga



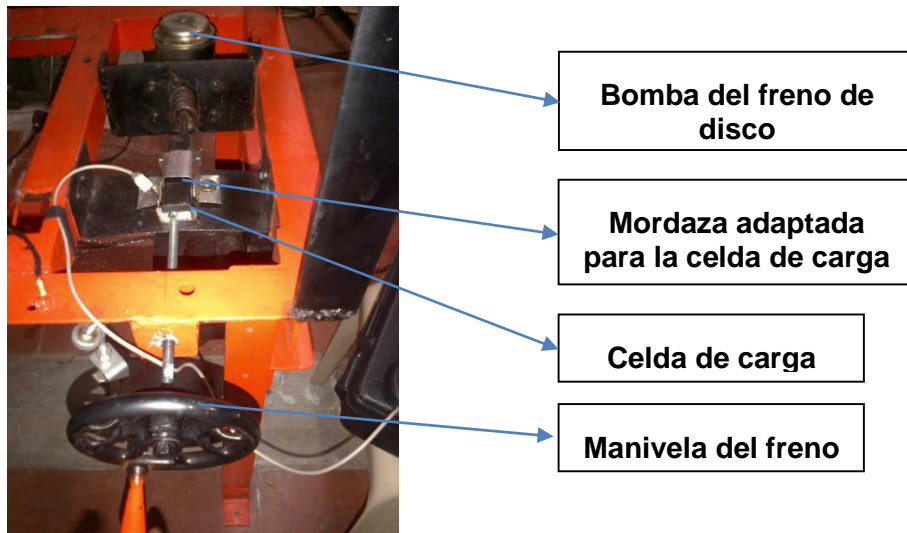
Fuente: Elaboración propia

Para la instalación en el banco de pruebas que está montado el motor G1600, se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

- El motor Willys (ver figura 2) debe estar apagado.
- La celda de carga se coloca en la mordaza adaptada del freno de disco para obtener medición de fuerza ejercida al freno de disco (ver figura 22).

Advertencia: La balanza no debe estar en contacto de algún tipo de vibración, ya que esta puede arrojar valores no precisos y podría presentar daños a la misma balanza.

Figura 22. Celda de carga instalada en la mordaza para freno de disco



Fuente: Elaboración propia

Manejo de la celda de carga

Como la balanza Ebalance es un accesorio de medición de presión en forma de tracción, se debe cambiar la posición del eje de la celda de carga, es decir, posicionarlo de forma contraria al como venía de fábrica, haciendo que este pueda medir en modo compresión y se pueda realizar la medición de carga ejercida al sistema del freno.

A continuación se tomaron las siguientes indicaciones de manejo del dispositivo:

- Posicionar la celda de carga en la mordaza adaptada del sistema del freno (ver figura 22), estando el motor apagado.
- Presionar el botón ON / OFF para encender la balanza.
- Girar la manivela del freno (ver figura 22) hasta que haga contacto con la celda de carga.
- Presionar el botón tare o reinicio para que este empiece a funcionar desde el valor cero (0).

3.1.5. Especificaciones y manejo del manómetro

Especificaciones del manómetro

Para la confirmación de la medición en la celda de carga (ver figura 21), se utiliza un manómetro (ver figura 23) que está conectado al sistema del freno acoplado al motor G1600 (ver figura 22).

Figura 23. Manómetro¹⁰



Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna UTP

En la tabla 10 se encuentran la especificaciones del manómetro a utilizar en el proyecto experimental

Tabla 10. Especificaciones del manómetro

CARACTERISTICAS	
Tipo	Manómetro de aceite mecánico
Marca	KTC
Numero serial	216-034
Presión	0 - 300 PSI
Panel	Cromo de 3 pulgadas

Fuente: KTC

Manejo del manómetro

Por medio del manejo del manómetro, se verifica la medición del valor correspondiente entregada por la celda de carga, mostrada en el visualizador de la balanza Ebalance (ver figura 23), es decir, por medio del movimiento circular en sentido horario de la manivela del freno, se desplazara hacia la celda de carga tipo viga (ver figura 21) haciendo fuerza de compresión, después de hacer contacto la manivela del freno en la celda de carga tipo viga, la mordaza adaptada para la celda de carga tipo viga se desplazara y activara la bomba del freno accionando el sistema de freno de disco como lo muestra la figura 22.

¹⁰ Accesorios de la UTP Op. Cit., p. 46

4. MODIFICACIÓN E INSTALACIÓN DEL KIT DE GAS NATURAL COMPRIMIDO VEHICULAR (GNCV)

Para realizar las pruebas usando gas natural vehicular como combustible alternativo fue necesario realizar modificaciones al banco de pruebas que esta puesto el motor Willys (ver figura 24) y la base del tanque del gas natural vehicular.

4.1. MODIFICACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA ACCESORIOS DEL MOTOR G1600

Como se había mencionado anteriormente, el banco de pruebas se realizó las modificaciones necesarias para implementar el kit de gas natural vehicular.

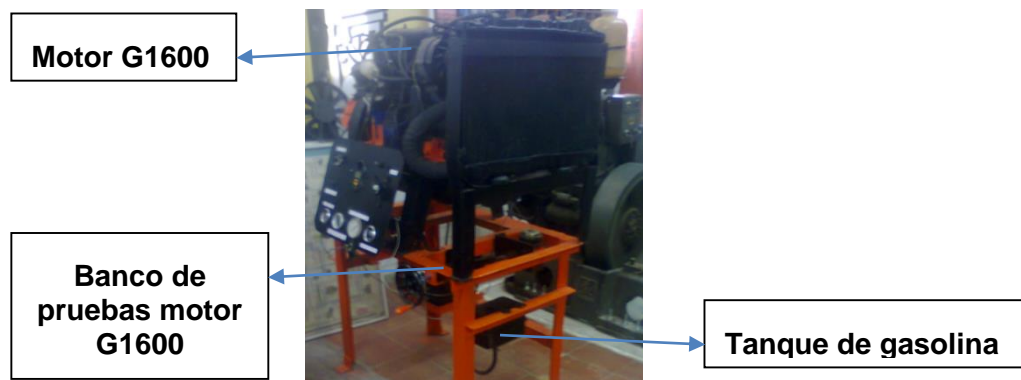
Para la realización de las pruebas utilizando los combustibles gasolina y gas natural vehicular, el banco de pruebas del motor G1600, como se aprecia en la figura 14, no tenía ninguna modificación para la instalación del kit de gas natural vehicular debido a que se había realizado un proyecto experimental anterior titulado “**medición de torque en el eje de salida de un motor de combustión interna alternativo**”, después de haberse realizado el proyecto experimental mencionado se realizaron varias modificaciones con el fin de proceder a realizar las pruebas de combustibles utilizando gas natural vehicular como combustible alternativo utilizando un kit de GNCV.

A continuación se detallara las modificaciones realizadas.

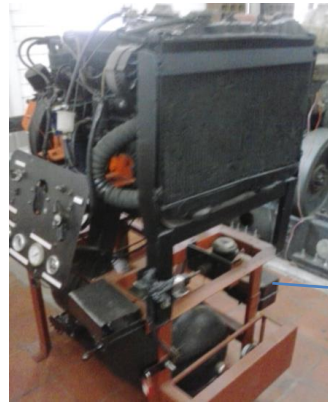
4.1.1. Reubicación del tanque de gasolina

La posición del tanque de la gasolina obstaculizaba la entrada del tanque de gas (ver figura 24a), se decidió ubicar el tanque de la Gasolina en el costado izquierdo del banco de pruebas previniendo una caída de chispa haciendo un incendio o explosión alejados de la conexión eléctrica (ver figura 24b).

Figura 24. Reubicación del tanque de la gasolina



(a)



Tanque de gasolina

(b)

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Reubicación de la batería

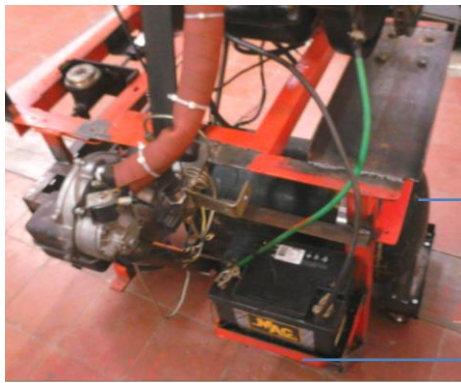
La base de la batería se localizaba en el interior de la base del banco de pruebas en el costado izquierdo (ver figura 25a), esto ocasionaba un impedimento a la entrada del tanque del gas, por lo cual fue reubicada en el exterior al costado izquierdo cerca de la base de apoyo del banco de pruebas (ver figura 25b), al ser reubicada la base de la batería, el tanque de almacenamiento pudo ser ubicada debajo del banco de pruebas del motor G1600 (ver figura 25c).

Figura 25. Reubicación de la base de la batería



Base de la batería

(a)



Tanque de almacenamiento por debajo del banco de pruebas G1600

Base de la batería

(b)



Tanque de almacenamiento por debajo del banco de pruebas G1600

(c)

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Sistema de acoplamiento para salida de gases

Para la prevención de gases contaminantes resultantes de la combustión motor G1600 en el laboratorio de motores de combustión interna de la UTP. Se realiza la instalación del sistema de salida de gases contaminantes, se detallara a continuación.

Acoplamiento tubo de salida – múltiple de escape – curva elástica

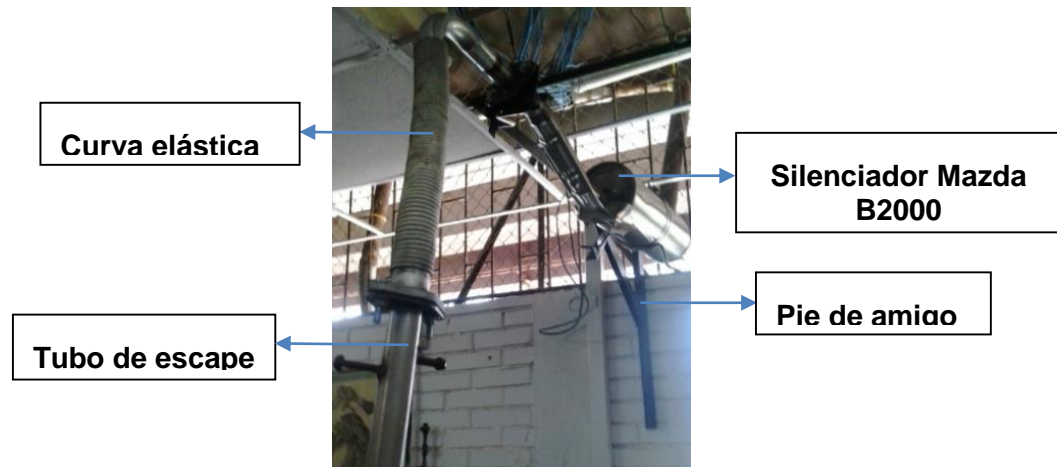
El motor G1600 por la reacción de la combustión, genera vibraciones y se traslada de un lugar a otro en un mínimo de distancia de 20 cm a la redonda, es necesario instalar un sistema de movimiento independiente que estaría puesto entre la salida del múltiple de escape hasta el silenciador, llamado **curva elástica**, permite el desplazamiento del motor sin provocar daños al sistema del escape de gases (ver figura 26).

Acoplamiento curva elástica – silenciador Mazda B2000

Para disminuir los niveles de ruido en el laboratorio de motores, fue necesario instalar un silenciador (ver figura 26) disponible en el laboratorio de motores, con la capacidad de soportar la entrada de gases proveniente del motor G1600.

Para mantener el silenciador en su posición se empotro en la pared del laboratorio de motores, fue fabricado un “pie de amigo” (ver figura 26), con el fin de sostener el silenciador y dar un mínimo de movimiento horizontal a la reacción del desplazamiento del motor.

Figura 26. Acoplamiento del tubo de escape – curva elástica



Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna

A continuación en la tabla 11 se muestran las especificaciones del silenciador.

Tabla 11. Silenciador Mazda B2000¹¹

CARACTERISTICAS	
Referencia	8707
descripción	Silenciador trasero
Modelo	B2000
Año	1986 - 1992
Usabilidad	B2000
Material	Aluminizado
Cilindraje	2000
Diámetro	160 mm
Longitud	500 mm

Fuente: UMO sistema de gases para automotores

¹¹ Accesorios de la UTP Op. Cit., p. 50

Acoplamiento silenciador Mazda B2000 - exósto

Para asegurar la salida de gases y evitar que los gases contaminantes se alojen en el laboratorio de motores, se instaló un exosto desde el silenciador Mazda B2000 (ver figura 27) hasta el exterior de la zona de trabajo.

Figura 27. Tubería para salida de gases contaminantes



Fuente: Elaboración propia

Con los accesorios de salida de gases instalados desde el múltiple de escape hasta el silenciador Mazda B2000, se previene daños al ser humano por posibles gases contaminantes producto de la combustión del motor G1600.

4.1.4. Instalación del kit del gas natural comprimido vehicular

Ya mencionado los acoplamientos instalados para la salida de gases contaminantes, se procede a detallar la modificación del banco de pruebas en relación a la instalación del kit de gas natural comprimido vehicular.

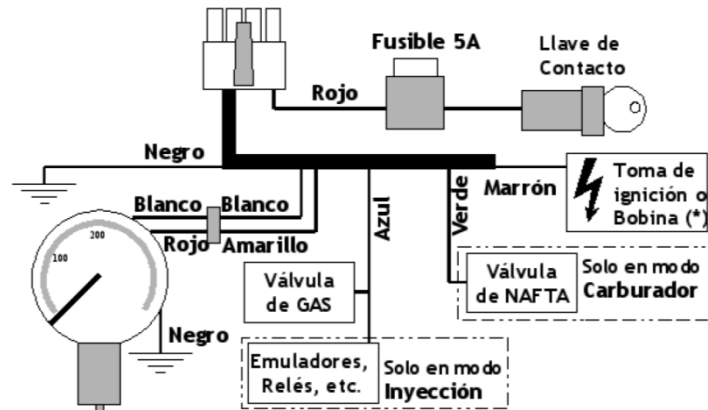
A continuación se detallara la instalación del kit de GNCV, el cual podrá ser de fácil mantenimiento y desconexión del tanque de almacenamiento a la hora de ser llevado a una estación de GNV¹² para su llenado.

Conexión eléctrica del kit de GNCV

Para la realización del procedimiento experimental, fue necesario dar a conocer la conexión eléctrica del kit de gas natural para su adecuado funcionamiento (ver figura 28).

¹² GNV – Gas Natural Vehicular

Figura 28. Esquema de instalación del kit de GNCV



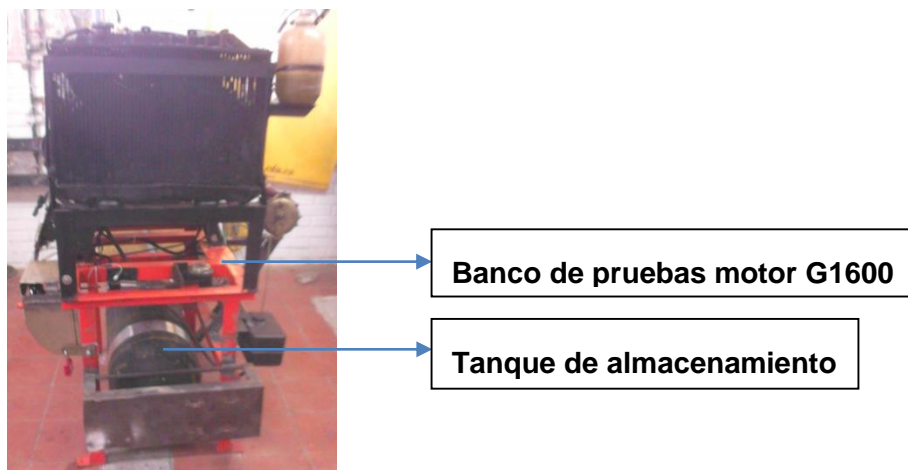
Fuente: SCH Dev

El panel de control del gas natural GNC/NAFTA controla la admisión de gas natural al motor de combustión interna, por lo tanto, para mayor facilidad, la electroválvula es controlada manualmente, para el cierre de paso de gasolina corriente al motor de combustión interna, al mismo tiempo por medio de señales eléctricas el regulador/reductor (ver figura 4f) comienza la admisión del gas natural proveniente del tanque de almacenamiento.

Posicionamiento del tanque de almacenamiento

Para el tanque de almacenamiento es primordial ser ubicado en un lugar donde no pueda ser golpeado por el personal del laboratorio de motores, el cual se posiciona por debajo del banco de pruebas como lo muestra la figura 29.

Figura 29. Posicionamiento del tanque de almacenamiento

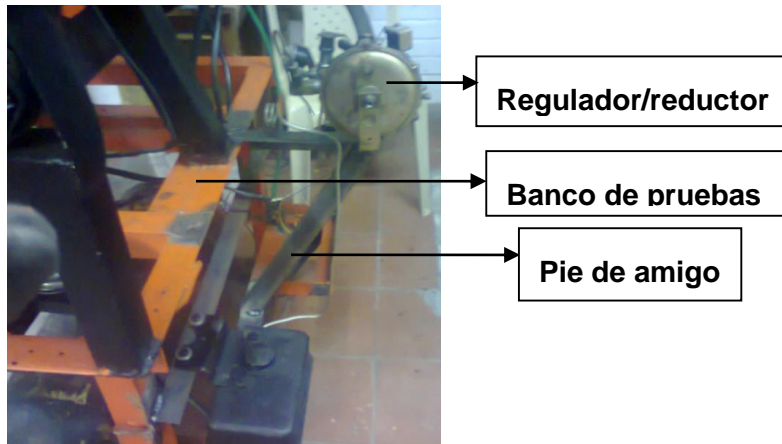


Fuente: Elaboración propia

Posicionamiento del regulador/reductor

El regulador/reductor debe estar fuera de alcance de grandes fuentes de calor, además debe estar al paso de la continuidad de flujo del gas natural, por lo tanto se localizó en el costado izquierdo del banco de pruebas del motor G1600, por medio de una extensión de “pie de amigo” con ángulos de acero 1020 para permanecer en su posición de instalación como lo muestra la figura 30.

Figura 30. Posicionamiento del regulador/reductor



Fuente: Elaboración propia

Posicionamiento y acoplamiento del mezclador del GNCV

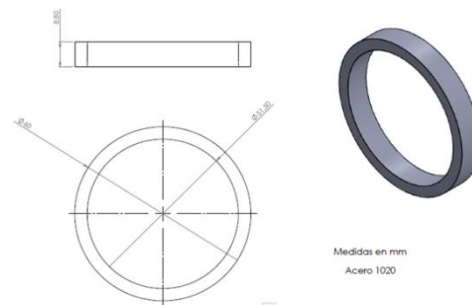
El motor G1600 por ser un motor de sistema carburador, el mezclador del GNCV debe ser colocado en la entrada del carburador el mezclador tipo chapa superior (ver figura 7), se presentó el problema del diámetro externo del carburador no coincidía con el diámetro interno del mezclador mencionado, el cual provocaba el escape de gas natural vehicular, se elaboró un anillo o camisa con las siguientes especificaciones (ver tabla 12).

Tabla 12. Medidas del buje

Buje	
Ø interior	51,50 mm
Ø exterior	60,00 mm
Espesor	8,80 mm

Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Buje dibujado en SolidWorks

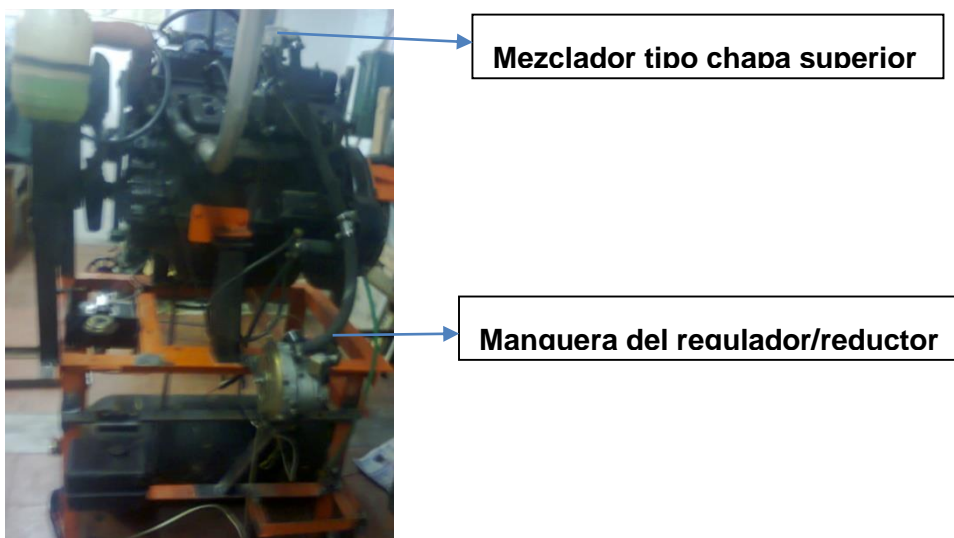


Fuente: Elaboración propia SolidWorks 2013¹³

Por razones de seguridad el buje (figura 31), no puede quedar holgado en contacto con la entrada de la boquilla del carburador ni con el mezclador del gas natural, se utilizó silicona transparente de rápido secado, marca LOCTITE

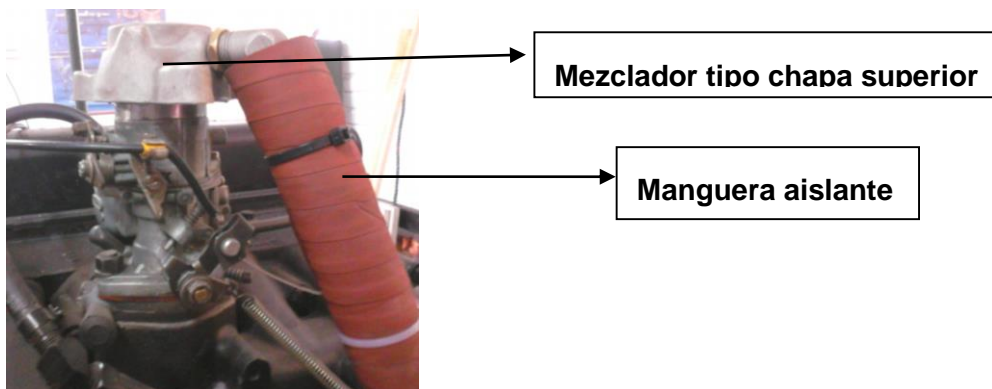
Al aplicarse la silicona transparente de secado rápido en el buje, se posicionó en la boquilla del carburador y posterior se posicionó el mezclador del gas natural encima del buje, asegurando que no habrá escapes por holgura y no se desprenderá. Tal como se puede observar en la figura 32a.

Figura 32. Mezclador tipo chapa superior acoplado al regulador/reductor



(a)

¹³ Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, una compañía de Dassault Systèmes S.S., 175 Wyman Street, Waltham, Mass, 02451 EE.UU. Reservado todos los derechos



(b)

Fuente: elaboración propia

Para la protección de la manguera que proviene del regulador/reductor, fue necesario instalara una manguera aislante (ver figura 32b) que soporta hasta una temperatura aproximada de 30°C, previniendo el daño de la manguera del regulador/reductor.

4.2. SEGURIDAD INDUSTRIAL

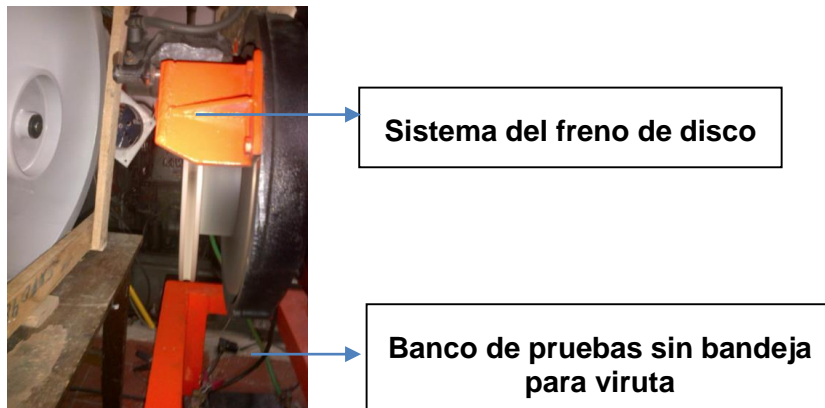
Para las pruebas de adaptación y evaluación de la operación de un motor a gasolina trabajando con gas natural como combustible alternativo, se hizo imprescindible realizar algunas modificaciones a los sistemas, esto con el fin de prevenir accidentes que ocasionarían daños graves tanto a las personas como a las instalaciones.

4.2.1. Recolector de virutas de freno de disco

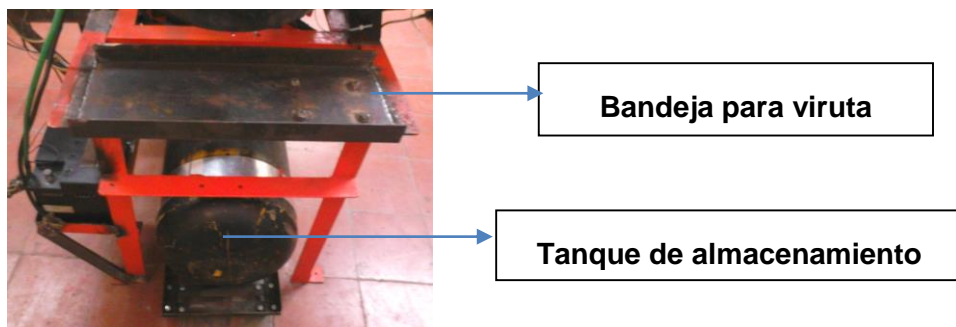
Como se deseaba instalar el kit de GNCV para la realización de proyecto experimental, el tanque de almacenamiento quedo situado por debajo del banco de pruebas del motor G1600 (ver figura 25c), al realizar una inspección, la viruta resultante de las pastillas del freno de disco caería al tanque de almacenamiento (ver figura 33a), se instaló una bandeja ubicada debajo del sistema del disco de freno (ver figura 33b).

En el desarrollo o ejecución de las pruebas, la bandeja ubicada debajo del sistema de disco de freno (ver figura 33c), cumple la función de recolector de viruta, con el fin de evitar el esparcimiento del mismo desecho en el banco de pruebas y el deterioro del tanque de gas natural vehicular.

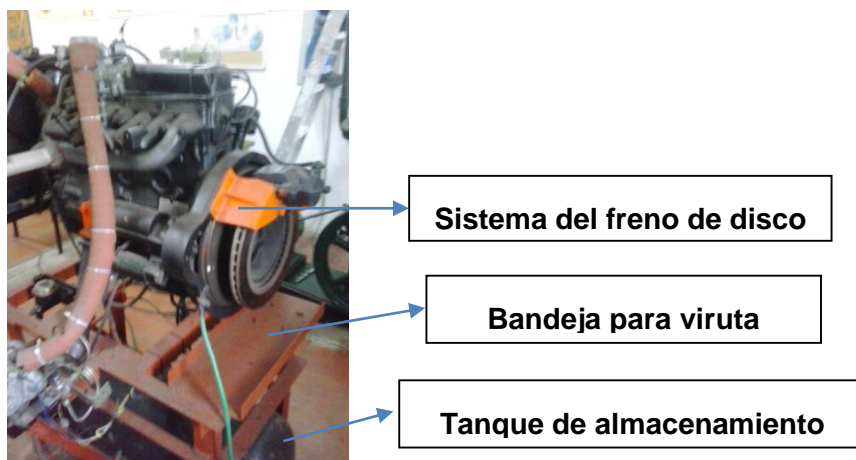
Figura 33. Bandeja para desperdicio de viruta del freno de disco



(a)



(b)



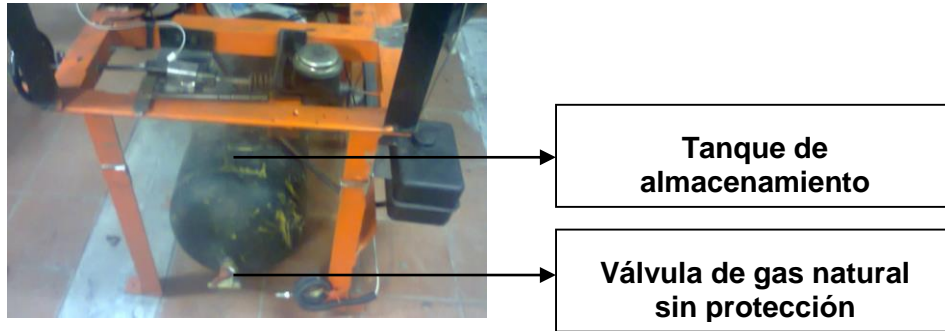
(c)

Fuente: Elaboración Propia

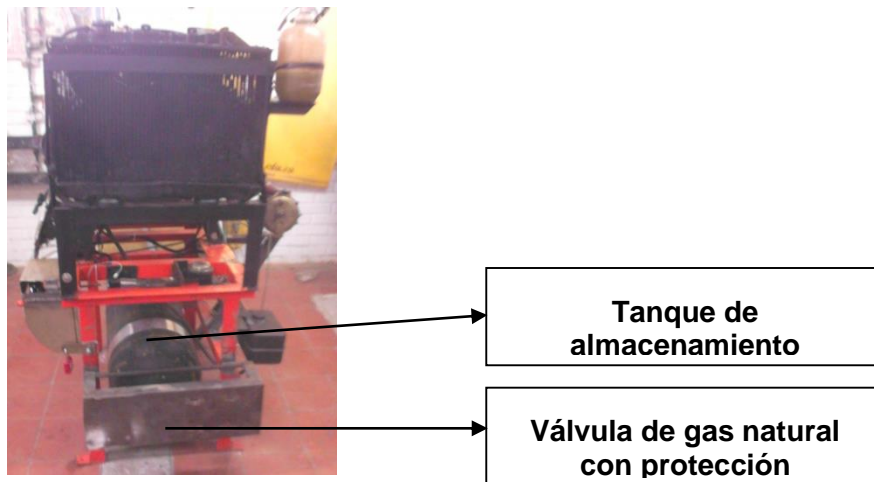
4.2.2. Protección de la válvula del tanque de almacenamiento

Después de haber dado la nueva ubicación al tanque de gasolina (ver figura 34a), se procede a construir un protector para la válvula del tanque de gas natural o válvula del cilindro (ver figura 34b).

Figura 34. Protector a la válvula de gas natural



(a)



(b)

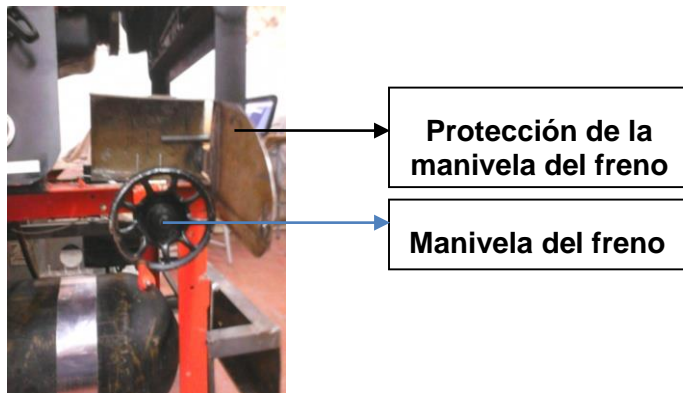
Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Protección al sistema del freno

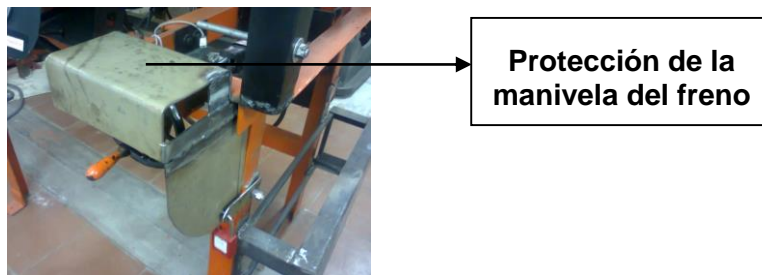
Para evitar que la bomba del freno sufra alteraciones, el freno no debe ser accionado cuando no se estén realizando pruebas en el motor G1600, se procedió a instalar un protector que tiene dos funciones importantes:

- Prevenir golpes a la manivela del freno por parte del personal externo o interno al laboratorio de motores de combustión interna (ver figuras 35a y 35b).
- Evitar el uso de la manivela accionando el freno cuando el motor este apagado, con la restricción de un candado de seguridad industrial (ver figura 35c).

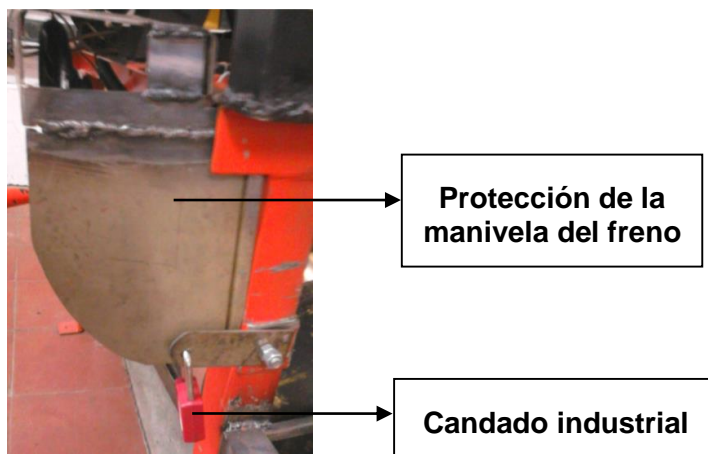
Figura 35. Protección para manivela del sistema del freno de disco



(a)



(b)



(c)

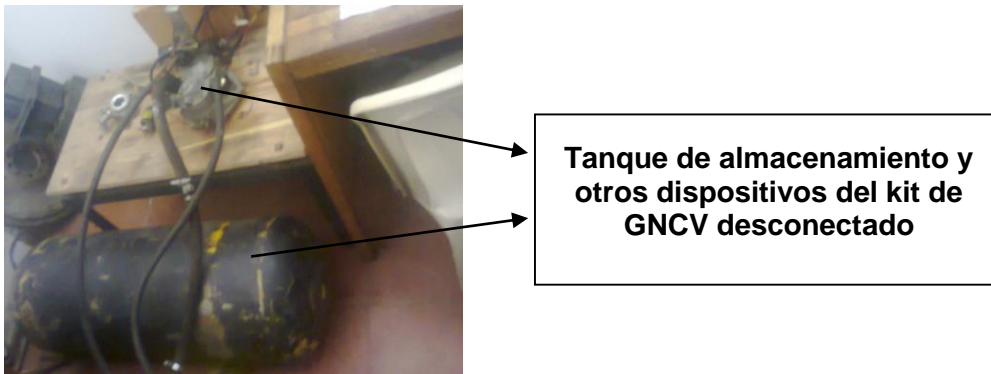
Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Base del tanque de almacenamiento

Debido que el tanque debe ser transportado a una estación de servicio de GNV por medio de un vehículo, se efectuó cambios a la base del tanque de gas, por razones de seguridad industrial el tanque de almacenamiento debe estar asegurado a la base del tanque.

En la figura 36, se aprecia el equipo del kit de gas natural vehicular desconectado, guardado en un salón del laboratorio de motores de combustión interna para evitar daños al equipo por parte del personal que ingresara a esta zona específica, ulteriormente se instaló para la realización del actual proyecto de grado, Por consiguiente se mostrara las modificaciones que se realizaron al tanque de gas.

Figura 36. Kit del GNCV desconectado



Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna de la UTP

Se instaló a la base del tanque del gas natural (ver figura 4a), cuatro (4) rodachines industriales, donde, dos (2) son rodachines móviles (giratorios) con frenos (ver figura 38a) y dos (2) rodachines estáticos (no giratorios) (ver figura 38b), con este sistema se facilita el transporte del cilindro cuando se realice el llenado del tanque de gas natural vehicular a una estación de servicio, evitando así lesiones musculoesqueléticas en el personal que cumpla dicha función.

Figura 37. Base del tanque del gas natural



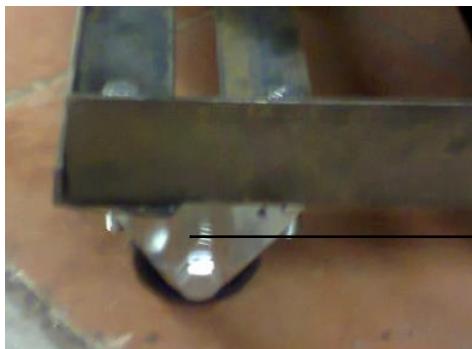
Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Rodachines delantero y trasero



Rodachin delantero
giratorio con freno

(a)



Rodachin trasero
estático

(b)

Fuente: Elaboración propia

Además se colocaron dos abrazaderas ajustado al diámetro del tanque de gas natural vehicular hacia la base del tanque del gas natural vehicular para asegurar posicionamiento y evitar el desplazamiento originando la caída del tanque de gas contra el suelo (ver figura 39).

Figura 39. Base del tanque de gas natural modificado con el tanque de almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Elementos de protección personal

En el proceso de operación del proyecto experimental, es primordial tener puesto las siguientes protecciones.

Protección auditiva

Debido a que cuando el motor está en funcionamiento el nivel del ruido es alto, se debe utilizar protección auditiva (protección auditiva de copa) ilustrado en la figura 40, con esto conseguimos proteger al personal que está manipulando el motor y del laboratorio de motores de combustión interna, de lesiones auditivas.

Otra medida del control del ruido es la realizada en la fuente, que constan en la adecuación del silenciador Mazda B2000 reduciendo los decibeles de ruido generado por el motor G1600.

Figura 40. Protección auditiva



Fuente: RCH

Protección visual

Con el funcionamiento del motor G1600 y accionamiento del freno de disco, se produce emisión de material particulado (viruta) al ambiente, por lo tanto se debe proteger el área visual (ver figura 41) del personal a cargo, ya que este material particulado puede producir daños irreversibles en el área ocular.

Figura 41. Protección visual

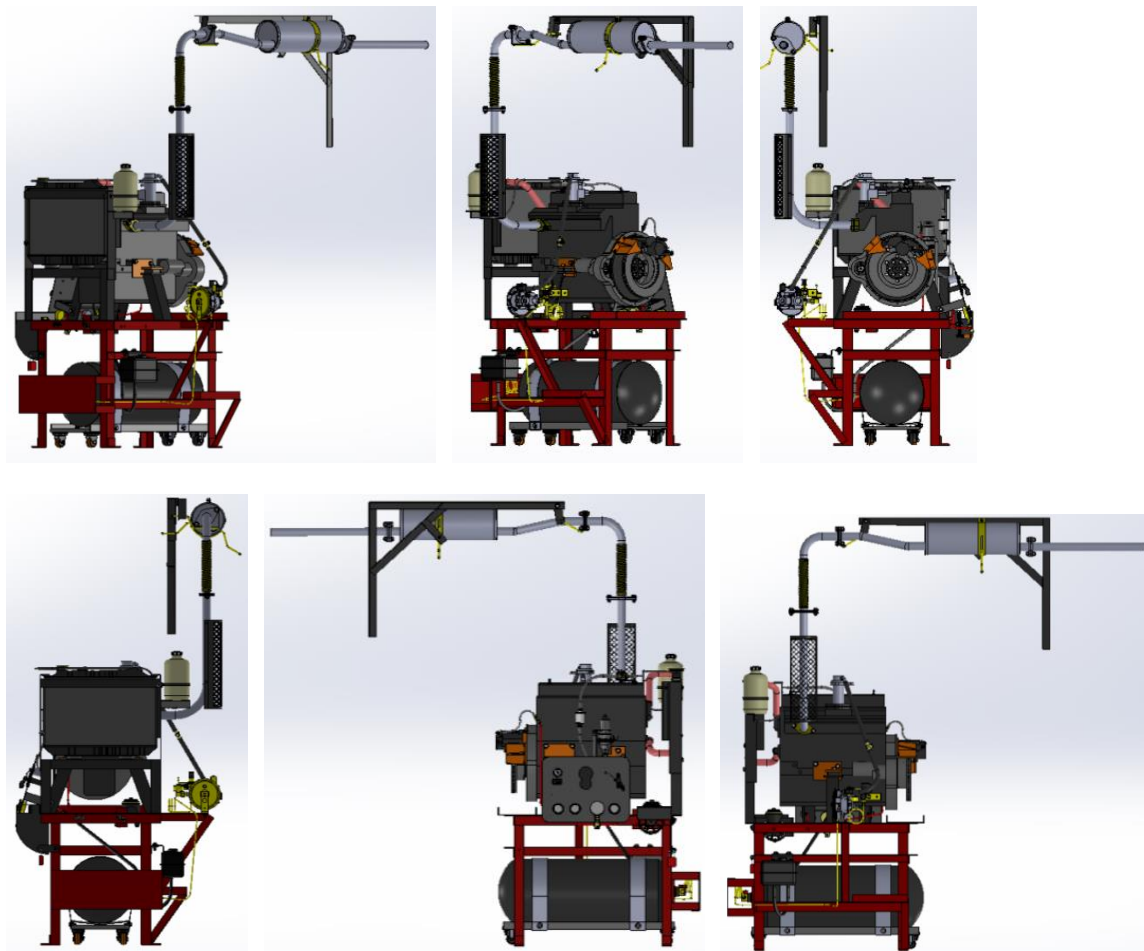


Fuente: Ferricampos

4.3. RECORRIDO GENERAL DEL GAS NATURAL COMPRIMIDO VEHICULAR AL MOTOR G 1600

Después de haber observado el capítulo anterior, se da a conocer el recorrido del gas natural en el kit de gas natural comprimido vehicular operando en el motor Hercules G1600, por medio de dibujos en tercera dimensión (3D) visualizadas del programa SolidWorks Premium 2013 (ver figura 42).

Figura 42. Vistas del motor G1600 en SolidWorks 2013



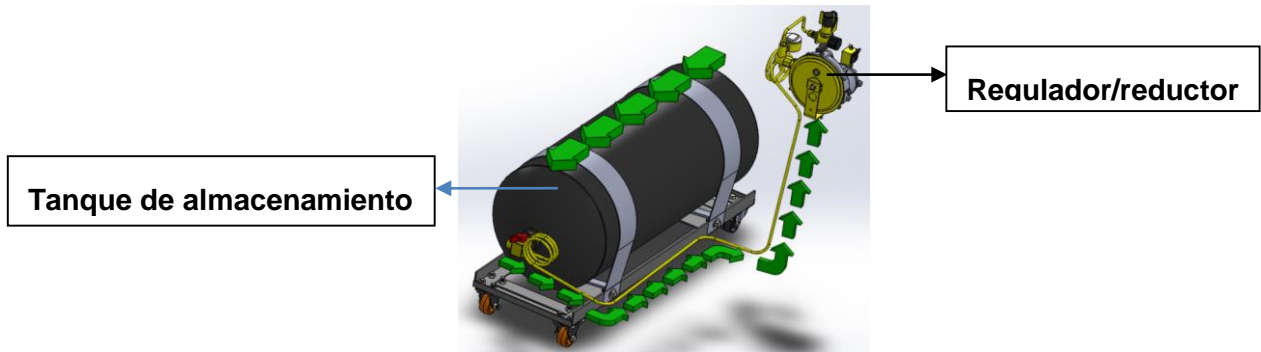
Fuente: Elaboración propia SolidWorks 2013

4.3.1. Tanque de almacenamiento – regulador/reductor

Para mantener el funcionamiento del sistema, se utiliza gas natural como combustible alternativo, el combustible es almacenado en el tanque de gas natural vehicular a una presión aproximada de 160 lbf, cuando se abre la válvula de cilindro (paso del gas natural), el gas natural realiza el recorrido de alimentación al motor G1600 por la tubería de alta

presión hasta llegar al regulador/reductor indicado con las flechas verdes observado en la figura 43.

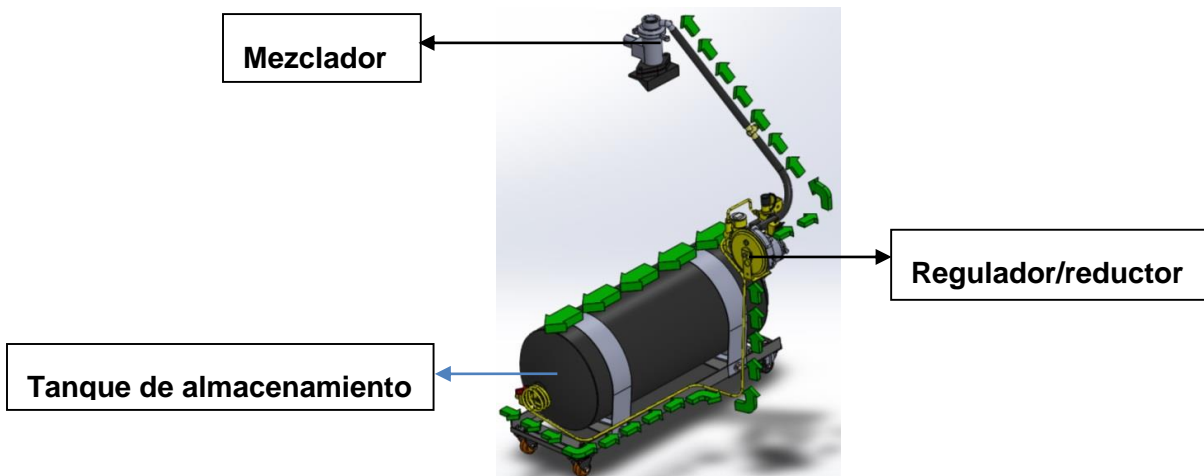
Figura 43. Tanque de almacenamiento – regulador/reductor



Fuente: Elaboración propia SolidWorks 2013

Cuando llega el Gas Natural al regulador/reductor, se procede a dirigirse al mezclador pasando por el tornillo de graduación de flujo gas realizando la regulación de presión del gas natural, consecuentemente el gas natural llega al mezclador con la presión adecuada sin desperdicio del gas natural o escases del gas natural (ver figura 44).

Figura 44. Regulador/reductor - mezclador



Fuente: Elaboración propia SolidWorks 2013

Dado la presión y el caudal adecuado del gas natural por el tornillo de graduación, el gas natural hace el recorrido por el mezclador que su función principal es distribuir el gas natural en la entrada del carburador realizando la función de combustión del motor G1600 en funcionamiento óptimo del sistema.

5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se explica el procedimiento experimental empleado para determinar las variables de estudios, torque o par de torsión, derivándolo en potencia del motor usando combustible fósil o gasolina corriente y gas natural comprimido vehicular, además se evaluara la estabilidad en carga operando con gasolina y gas natural.

Para ello se hicieron algunas condiciones de operación, se explicaran a continuación:

- Aplicando restricción del freno en diferentes puntos estacionarias 25%, 50%, 75% y 100% de frenado.
- Variación de aceleración (ver figura 45) con un mando de cambios para bicicleta acondicionado en el carburador a 15° por punto hasta llegar a 90°.

Figura 45. Tablero de control del motor G1600



Fuente: Elaboración propia

5.1. REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS PARA GASOLINA Y GAS NATURAL

En el siguiente procedimiento experimental se enuncian de manera concreta los aspectos operativos, técnicos y de seguridad, necesarios para llevar a cabo cada una de las pruebas, así como la manipulación adecuada de elementos y equipos, con el objetivo de obtener datos consistentes y confiables, que serán útiles tanto para el análisis como para la formulación de conclusiones acertadas.

La realización de las pruebas se da en tres etapas: preparación, prueba y finalización las cuales están a su vez, compuestas por sub etapas; a continuación se enuncian y se explican cada una de ellas:

5.1.1. Preparación del procedimiento experimental

Revisar que todos los equipos de instrumentación estén calibrados y en perfecto estado, como la luz de sincronización, la balanza Ebalance y manómetro de presión, revisar el estado de conexión del sistema de kit de gas y revisión del paso de gas por el regulador/reductor y el mezclador de gas – gasolina sin presentar fugas, tener en cuenta la limpieza del área de trabajo a usar. La instrumentación y los equipos deben ubicarse en lugares donde se garantice la seguridad de los mismos y donde trabajen bajo condiciones óptimas, libres de vibración, altas temperaturas, etc.

5.1.2. Realización de las pruebas para gasolina y gas natural

A continuación se detallara el procedimiento de revisión previa para realizar las pruebas.

Revisión instrumentaría previa a la realización de las pruebas

Con el fin de obtener resultados confiables en la realización de las pruebas, se procederá a detallar el orden de conexión instrumentaría:

- 1) Posicionar el extractor de aire de acuerdo a la figura 16, siguiendo las especificaciones escritas de la tabla 7.
- 2) Posicionar la batería como se muestra en la figura 25a, con los bornes de alimentación de energía alejados de cualquier conector o base de descarga a tierra del banco de pruebas.
- 3) Sacar la luz de sincronización de la maleta marcada como Digital Timing Light y conectarlo de acuerdo al numeral 3.1.3.
- 4) Posicionar la celda de carga de acuerdo al numeral 3.1.4.

Revisión mecánica previa a la realización de las pruebas

Con el fin de obtener resultados confiables en la realización de las pruebas, se procederá a detallar el orden de revisión mecánica:

- 1) Verificar el nivel del agua del sistema de refrigeración en el tanque del agua.
- 2) Revisar o verificar la cantidad de aceite para el motor de combustión interna, evitando escases o exceso de aceite lubricante en el Carter.
- 3) Habilitar, abrir o dar paso a la válvula de cilindro para la alimentación de gas en el motor Hercules G1600.
- 4) La electroválvula de gasolina debe estar abierta para el paso del combustible fósil o gasolina corriente (ver figura 10).
- 5) Verificar que la manivela del freno (ver figura 22) no esté activada o ejerciendo presión a la bomba del freno de disco.

Al tener en cuenta las indicaciones anteriores, se procederá a detallar paso a paso el desarrollo de las pruebas para combustible fósil (gasolina corriente) y gas natural comprimido vehicular (GNCV), por convexo se especificaran los pasos a seguir.

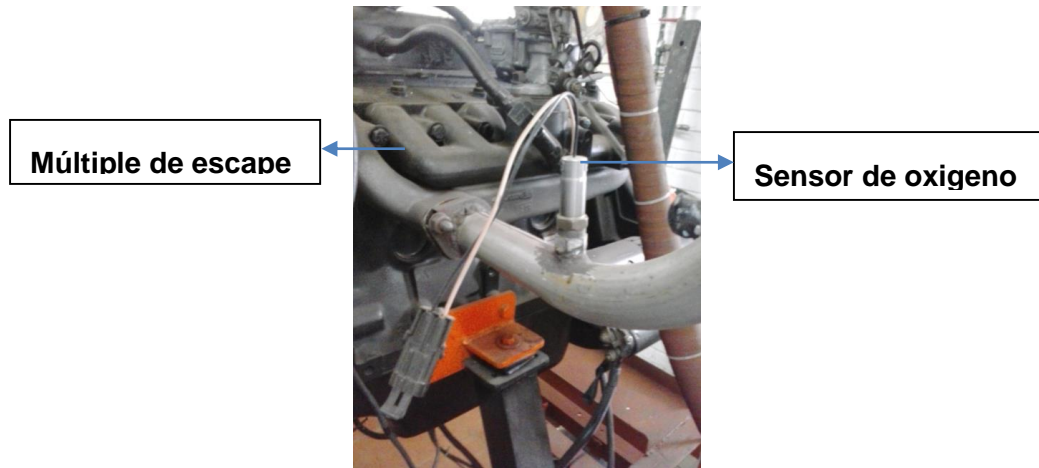
- 1) Antes de encender el motor Hercules G1600 las pinzas cocodrilos roja y negra deben estar desconectado para la prevención de daños del instrumento digital luz de sincronización.
- 2) Encender el motor Hercules G1600 y dejar en marcha libre por 10 minutos o hasta alcanzar la temperatura optima de funcionamiento 80°C (Grados Celsius).
- 3) Conectar los cocodrilos negro y rojo de acuerdo al numeral 3.1.3.
- 4) Conectar a la fuente de poder o voltaje del laboratorio de motores de combustión interna y encender el extractor de aire.
- 5) El mando de bicicleta adaptada para el acelerador de motor de combustión interna es dejada en la primera posición de aceleración o ralenti (15°) (ver figura 45).
- 6) Se aplica una fuerza de frenado equivalente a 11.55 Kgf en la celda de carga o 25% de fuerza de frenado, por medio de la manivela ilustrada en la figura 25.
- 7) Se verifica el valor del manómetro (ver figura 23), el valor aproximado de 14.4 PSI por un lapso de tiempo de 5 segundos.
- 8) Analizar los valores de RPM de la luz de sincronización para ser anotados después de un lapso de 10 segundos.
- 9) Se realiza tres veces el mismo procedimiento de los puntos 5 – 6 – 7 – 8 hasta completar tres cuadros de valores promedios, con el fin de obtener el promedio de, las revoluciones por minuto de la luz de sincronización, la presión manométrica y la temperatura del motor Hercules G 1600 de la primera posición de aceleración en 25% de frenado.
- 10) Se realiza el mismo procedimiento del punto 9 para el 50% de frenado para obtener cuatro cuadros de valores promedios.
- 11) Se realiza el mismo procedimiento del punto 9 para el 75% de frenado para obtener cuatro cuadros de valores promedios.
- 12) Se realiza el mismo procedimiento del punto 9 para el 100% de frenado para obtener cuatro cuadros de valores promedios.

Después de haber realizado los pasos para la obtención de los valores de RPM y par de torsión es necesario hacer pruebas de voltaje con un sensor de voltaje ubicado en el tubo de escape.

5.2. REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS CON GASOLINA Y GAS NATURAL PARA SELECCIÓN DE CHISPA ADECUADA

Para seguir con el procedimiento de obtención de operación optimo del motor G1600, se utilizara el sensor de oxigeno modelo 2244 instalado en el múltiple de escape del motor G1600 ilustrado en la figura 68, muestra la siguiente característica de comportamiento ideal (ver figura 46), el cual indicara los parámetros de sincronización sobre la operación del motor trabajando en gasolina como en gas natural.

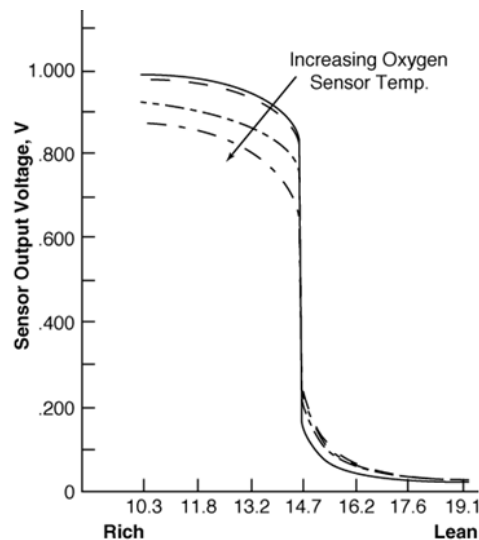
Figura 46. Sensor de oxígeno



Fuente: Elaboración propia

Para la medición del avance de chispa es necesario variar el avance de chispa del distribuidor (ver figura 48) del motor G1600, con el fin de encontrar el avance de chispa adecuado para proceder a realizar las pruebas de gas natural vehicular con la gasolina funcionando a las mismas condiciones. Para ello el distribuidor es rotado en sentido anti-horario para el avance de chispa.

Figura 47. Tensión de salida del sensor de oxígeno Vs relación aire – combustible



Fuente: Manual del sensor de oxígeno

Figura 48. Distribuidor del motor G1600



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 68, se realizaron pruebas en el motor G1600 con un multímetro (ver figura 49), luz de sincronización o lámpara estroboscópica (ver figura 17) en modo de medición en RPM para motor de cuatro tiempos, además se seleccionaron dos estados de pruebas para ser analizados a continuación.

- El primer estado se realizó estando en ralentí (sin carga o restricción del freno).
- El segundo estado se realizó con una carga de 23,11 Kgf o 35 PSI, con la posición de la mariposa del carburador a 45 grados (45°).

Estas pruebas se hicieron con la condición de hacerlo de manera alternante, es decir, se realizaba usando primero Gasolina y posteriormente a Gas Natural Comprimido Vehicular (GNCV) por cada 4 grados de avance de chispa.

Figura 49. Multímetro digital



Fuente: Multímetros digitales de Fluke

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el capítulo 5, se mencionó los pasos a seguir para la obtención de los valores de par de torsión, velocidad angular (RPM) y potencia (Hp) de acuerdo a las condiciones propuestas en la posición de la mariposa del carburador cada 15° (grados) de inclinación, consiguientemente se procederá a contemplar y analizar los resultados obtenidos.

6.1. COMPORTAMIENTO DEL MOTOR G1600 FUNCIONANDO A GASOLINA

Debido a que los valores resultantes deben mantener una consistencia, la temperatura se pudo controlar el periodo de funcionamiento evitando llegar a los 90°C, si este valor era superado, el motor G1600 podría iniciar con sobrecalentamiento y daños en algunas partes del sistema.

6.1.1. Ecuación de la conversión para la unidad de presión manométrica

La obtención de los valores fueron realizados en el motor G1600 de 2.7L (Litros), para proceder a manejarlo en un solo sistema de medición, fue necesario convertirlo del sistema inglesa PSI (Pounds-force per Square Inch) traducido al español (Libras por pulgada cuadrada) al sistema internacional Pa (Pascuales).

Para la utilización de las conversiones posteriores se deben de tener en cuenta las conversiones equivalentes siguientes:

$$1\text{PSI} = 1 \frac{\text{Lb}_F}{\text{pulg}^2}$$
$$1\text{Pa} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2} = \frac{1\text{Kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}{1\text{m}^2}$$

Para proceder a convertir esta unidad de PSI a Pa, es necesario decir que una pulgada cuadrada (1pulg^2) equivale a 0,00064516 metros cuadrados ($0,00064516\text{m}^2$), una libra fuerza (1Lb_F) equivale a 0,45359237 Kilogramos fuerza ($0,45359237\text{kg}_F$), multiplicada por la gravedad $9,80665 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$.

Ecuación 1.

$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{Lb}_F}{\text{pulg}^2} \cdot \frac{1\text{pulg}^2}{0,00064516\text{m}^2} \cdot \frac{0,45359237\text{kg}_F}{1\text{Lb}_F} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

Ejemplo para Gasolina:

Tomaremos del valor promedio 1, la presión del total promedio para el 25% de frenado comprobando el valor de presión PSI o $\frac{lb_F}{pulg^2}$ convertido a Pa utilizando la ecuación 1.

El valor de la presión de 14.7PSI fue tomado de una aproximación del valor real de 14,66666667PSI

$$\text{Valor (Pa)} = 14.7 \frac{Lb_F}{pulg^2} \cdot \frac{1pulg^2}{0.00064516m^2} \cdot \frac{0,45359237Kg_F}{1Lb_F} \cdot 9.80665 \frac{m}{seg^2}$$

$$\text{Valor (Pa)} = 101123.1070Pa$$

6.1.2. Valores obtenidos de las pruebas para Gasolina

Tabla 13. Valores obtenidos para Gasolina con el 25% de frenado

Para el 25% de fuerza de frenado				
Valor promedio 1				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	770,0	13,0	89631,8448	79,0
2	760,0	15,0	103421,3594	80,0
3	750,0	16,0	110316,1167	80,0
Total promedio	760,0	14,7	101123,1070	79,7

Valor promedio 2				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1960,0	14,0	96526,6021	80,0
2	1950,0	15,0	103421,3594	80,0
3	1940,0	16,0	110316,1167	80,0
Total promedio	1950,0	15,0	103421,3594	80,0

Valor promedio 3				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2540,0	12,0	82737,0875	80,0
2	2530,0	14,0	96526,6021	80,0
3	2520,0	15,0	103421,3594	80,0
Total promedio	2530,0	13,7	94228,3497	80,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Valores obtenidos para Gasolina con el 50% de frenado

Para el 50% de fuerza de frenado				
Valor promedio 1				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	720,0	29,0	199947,9615	80,0
2	690,0	31,0	213737,4761	80,0
3	680,0	33,0	227526,9907	80,0
Total promedio	696,7	31,0	213737,4761	80,0

Valor promedio 2				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1550,0	30,0	206842,7188	80,0
2	1530,0	32,0	220632,2334	80,0
3	1510,0	34,0	234421,7480	80,0
Total promedio	1530,0	32,0	220632,2334	80,0

Valor promedio 3				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2120,0	32,0	220632,2334	81,0
2	2050,0	34,0	234421,7480	81,0
3	1770,0	37,0	255106,0198	82,0
Total promedio	1980,0	34,3	236720,0004	81,3

Valor promedio 4				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2900,0	22,0	151684,6604	83,0
2	2700,0	31,0	213737,4761	83,0
3	2500,0	33,0	227526,9907	83,0
Total promedio	2700,0	28,7	197649,7091	83,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Valores obtenidos para Gasolina con el 75% de frenado

Para el 75% de fuerza de frenado				
Valor promedio 1				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	520,0	51,0	351632,6220	80,0
2	500,0	52,0	358527,3792	80,0
3	460,0	54,0	372316,8938	80,0
Total promedio	493,3	52,3	360825,6317	80,0

Valor promedio 2				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	980,0	53,0	365422,1365	80,0
2	850,0	54,0	372316,8938	81,0
3	760,0	55,0	379211,6511	82,0
Total promedio	863,3	54,0	372316,8938	81,0

Valor promedio 3				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1363,0	52,0	358527,3792	81,0
2	1218,0	58,0	399895,9230	81,0
3	1180,0	59,0	406790,6803	83,0
Total promedio	1253,7	56,3	388404,6608	81,7

Valor promedio 4				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1709,0	54,0	372316,8938	80,0
2	1612,0	56,0	386106,4084	81,0
3	1565,0	59,0	406790,6803	82,0
Total promedio	1628,7	56,3	388404,6608	81,0

Valor promedio 5				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2310,0	52,0	358527,3792	80,0
2	2290,0	53,0	365422,1365	83,0
3	2070,0	55,0	379211,6511	87,0
Total promedio	2223,3	53,3	367720,3890	83,3

Tabla 16. Valores obtenidos para Gasolina con el 100% de frenado

Para el 100% de fuerza de frenado				
Valor promedio 1				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	670,0	63,0	434369,7095	80,0
2	570,0	70,0	482633,0105	80,0
3	520,0	73,0	503317,2824	81,0
Total promedio	586,7	68,7	473440,0008	80,3

Valor promedio 2				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	880,0	60,0	413685,4376	82,0
2	740,0	73,0	503317,2824	83,0
3	680,0	75,0	517106,7970	84,0
Total promedio	766,7	69,3	478036,5057	83,0

Valor promedio 3				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1300,0	65,0	448159,2241	83,0
2	1250,0	73,0	503317,2824	84,0
3	810,0	75,0	517106,7970	83,0
Total promedio	1120,0	71,0	489527,7678	83,3

Fuente: elaboración propia

Valor promedio 4				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1850,0	65,0	448159,2241	80,0
2	1600,0	72,0	496422,5251	81,0
3	1130,0	76,0	524001,5543	84,0
Total promedio	1526,7	71,0	489527,7678	81,7

Valor promedio 5				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2410,0	65,0	448159,2241	80,0
2	2260,0	72,0	496422,5251	82,0
3	2050,0	74,0	510212,0397	87,0
Total promedio	2240,0	70,3	484931,2630	83,0

Valor promedio 6				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2850,0	65,0	448159,2241	75,0
2	2450,0	72,0	496422,5251	82,0
3	2250,0	70,0	482633,0105	88,0
Total promedio	2516,7	69,0	475738,2532	81,7

Fuente: elaboración propia

6.1.3. Ecuación de conversión de par de torsión (Nm) a potencia (J/seg)

La siguiente ecuación es utilizada en las tablas generales para Gasolina.

Para la ecuación de par de torsión (Nm) es igual a la multiplicación de la presión manométrica en Pascales (Pa) por la distancia del centro del eje al embolo en metros (m) por el coeficiente del asbesto-hierro (K_p ; valor constante) por el área de contacto del disco del freno con las pastillas de freno en metros cuadrados (m^2).

Ecuación 2.

$$\text{Valor (Nm)} = \frac{N}{m^2} \cdot m \cdot K_{\mu} \cdot m^2$$

Posteriormente el valor de la unidad de par de torsión (Nm) lo convertimos a valor de unidad de Potencia $\left(\frac{J}{seg}\right)$.

Ejemplo para Gasolina:

Se tomara el valor de la presión manométrica de la Gasolina y otros valores constantes.

- Presión manométrica = $101123.1070 \frac{N}{m^2}$
- Distancia del embolo = 0,143m
- Coeficiente del asbesto – hierro (K_{μ}) = 0,32
- Área de contacto = $0.006911368m^2$

Aplicando los valores anteriores en la ecuación 2, se obtiene lo siguiente:

$$\text{Valor (Nm)} = 101123.1070 \frac{N}{m^2} \cdot 0.143m \cdot 0.32 \cdot 0.006911368m^2$$

$$\text{Valor (Nm)} = 31.98Nm$$

Para obtener la potencia $\left(\frac{J}{seg}\right)$. El par de torsión (Nm) es multiplicado por las revoluciones sobre minuto $\left(\frac{rev}{min}\right)$, y las revoluciones por minuto se realiza una equivalencia en $\frac{rad}{seg}$ sabiendo que un minuto equivale sesenta segundos $\left(\frac{1min}{60seg}\right)$ y dos PI radianes equivale a una revolución $\left(\frac{2\pi rad}{1rev}\right)$.

Ecuación 3.

$$\text{Potencia} \left(\frac{J}{seg}\right) = Nm \cdot \frac{rev}{min} \cdot \frac{1min}{60seg} \cdot \frac{2\pi rad}{1rev}$$

Ejemplo para Gasolina:

Tomaremos el primer valor de revolución por minuto de la celda de RPM con restricción del freno y lo convertiremos a radianes sobre segundo para obtener el primer valor de potencia en $\left(\frac{J}{seg}\right)$ aplicando la ecuación 3.

$$\text{Potencia} \left(\frac{J}{seg}\right) = 31,98Nm \cdot 760 \frac{rev}{min} \cdot \frac{1min}{60seg} \cdot \frac{2\pi}{1rev}$$

$$\text{Potencia} \left(\frac{\text{J}}{\text{seg}} \right) = 2545,32 \frac{\text{J}}{\text{seg}}$$

6.1.4. Ecuación de conversión de potencia (J/seg) a potencia (Hp)

Después de haber desarrollado la ecuación de potencia en la ecuación 3, se procederá a convertirlo la potencia a (HP), sabiendo que 1 Horsepower (HP) equivale a 745.69987158227022 watts (w), como se muestra en la ecuación 4.

Ecuación 4.

$$\text{Potencia (Hp)} = \text{valor (w)} \cdot \frac{1\text{HP}}{745.69987158227022\text{w}}$$

Ejemplo para Gasolina:

$$\text{Potencia (HP)} = 2545.32\text{w} \cdot \frac{1\text{HP}}{745.69987158227022\text{w}}$$

$$\text{Potencia (HP)} = 3.41\text{HP}$$

Tabla 17. Tabla general de datos obtenidos para gasolina

Tabla de datos para combustible fósil (Gasolina)						
Clasificación de la fuerza de frenado	Ángulo de aceleración (grados)	RPM sin restricción del freno	Celda de carga (Kgf)	RPM con restricción del freno	Presión Manométrica (Pa)	Temperatura (°C)
Fuerza del freno al 25%	15	820	11,55	760,0	101123,107	79,7
	30	1980		1950,0	103421,359	80,0
	45	2600		2530,0	94228,350	80,0
Fuerza del freno al 50%	15	820	23,10	696,7	213737,476	80,0
	30	1980		1530,0	220632,233	80,0
	45	2600		1980,0	236720,000	81,3
	60	3130		2700,0	197649,709	83,0
Fuerza del freno al 75%	15	820	34,65	493,3	360825,632	80,0
	30	1980		863,3	372316,894	81,0
	45	2600		1253,7	388404,661	81,7
	60	3130		1628,7	388404,661	81,0
	75	3690		2223,3	367720,389	83,3
Fuerza del freno al 100%	15	820	46,20	586,7	473440,001	80,3
	30	1980		766,7	478036,506	83,0
	45	2600		1120,0	489527,768	83,3
	60	3130		1526,7	489527,768	81,7
	75	3690		2240,0	484931,263	83,0
	90	3980		2516,7	475738,253	81,7

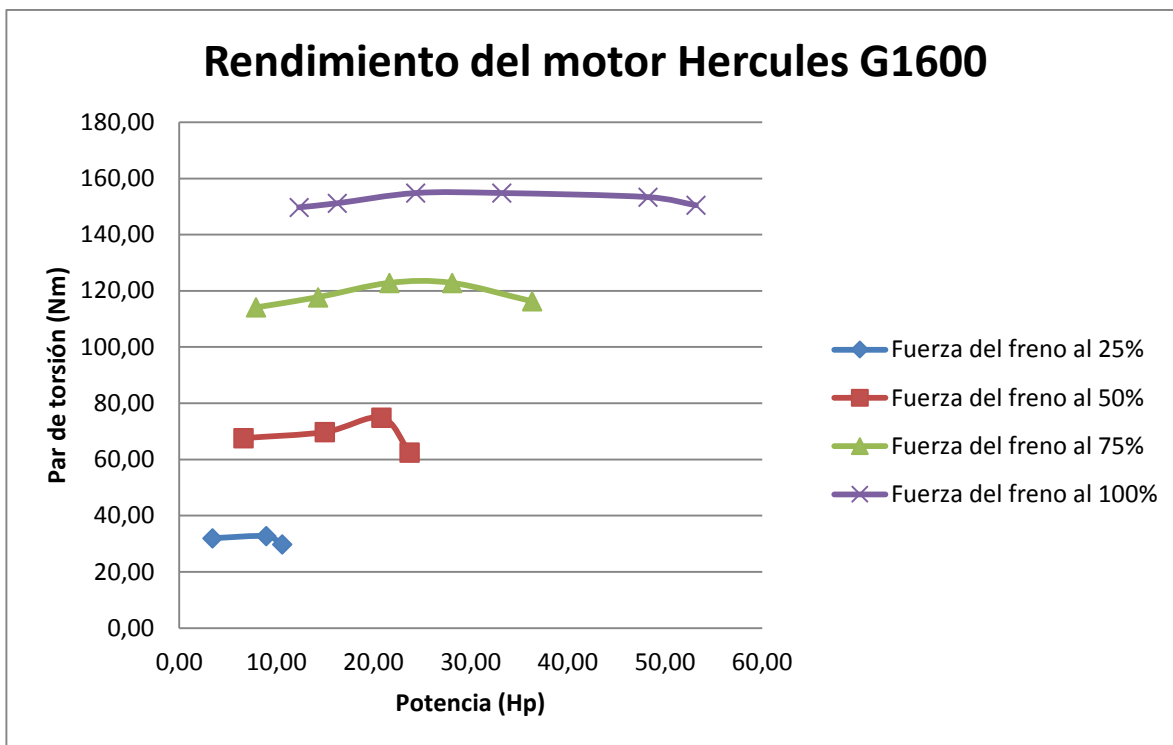
(a)

Tabla de datos para combustible fósil (Gasolina)						
Clasificación de la fuerza de frenado	Área de contacto (m ²)	Coefficiente del asbesto - hierro (kμ)	Distancia del embolo (m)	Par de Torsión (Nm)	Potencia (J/s)	Potencia (Hp)
Fuerza del freno al 25%	0,006911368	0,320	0,143	31,98	2545,32	3,41
	0,006911368	0,320	0,143	32,71	6679,19	8,96
	0,006911368	0,320	0,143	29,80	7895,52	10,59
Fuerza del freno al 50%	0,006911368	0,320	0,143	67,60	4931,56	6,61
	0,006911368	0,320	0,143	69,78	11179,93	14,99
	0,006911368	0,320	0,143	74,87	15523,11	20,82
	0,006911368	0,320	0,143	62,51	17674,15	23,70
Fuerza del freno al 75%	0,006911368	0,320	0,143	114,12	5895,44	7,91
	0,006911368	0,320	0,143	117,75	10645,59	14,28
	0,006911368	0,320	0,143	122,84	16126,69	21,63
	0,006911368	0,320	0,143	122,84	20950,54	28,10
	0,006911368	0,320	0,143	116,30	27077,02	36,31
Fuerza del freno al 100%	0,006911368	0,320	0,143	149,73	9198,88	12,34
	0,006911368	0,320	0,143	151,19	12137,98	16,28
	0,006911368	0,320	0,143	154,82	18158,25	24,35
	0,006911368	0,320	0,143	154,82	24751,42	33,19
	0,006911368	0,320	0,143	153,37	35975,50	48,24
	0,006911368	0,320	0,143	150,46	39652,67	53,18

(b)

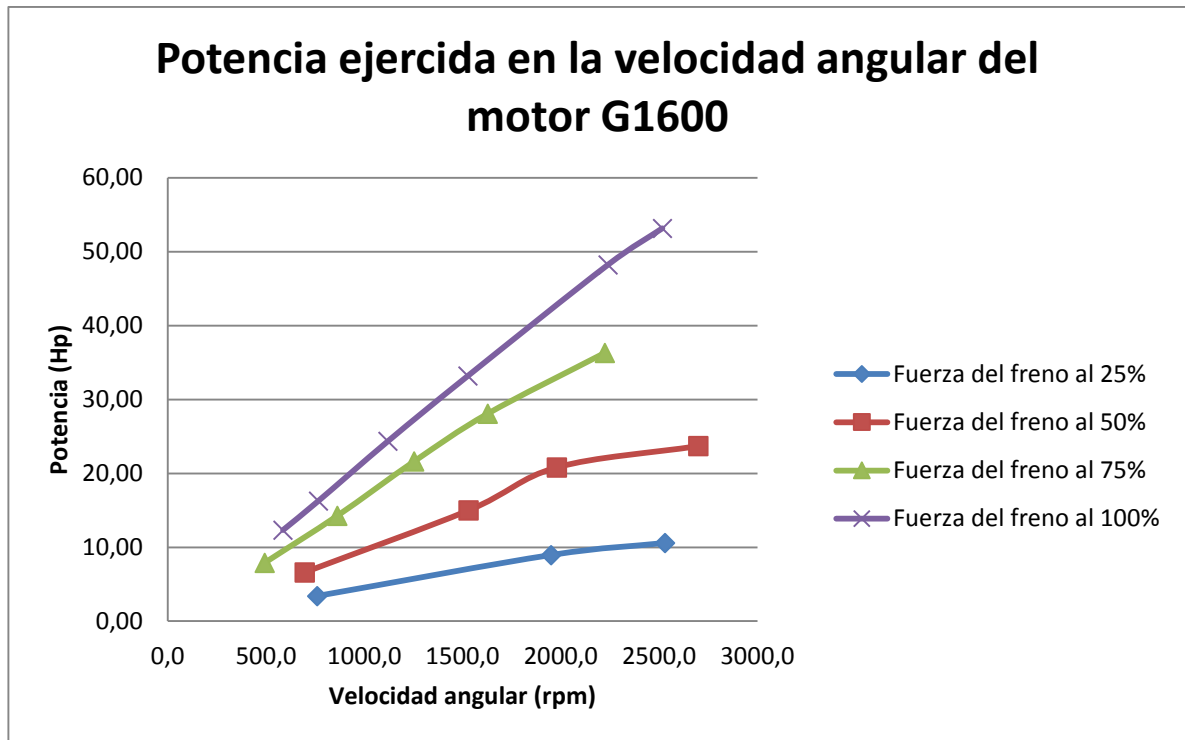
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 1. Par de torsión Vs Potencia para Gasolina



Fuente: elaboración propia

Gráfica 2. Potencia Vs Velocidad angular para Gasolina



Fuente: elaboración propia

Nota: Las pruebas fueron realizadas de acuerdo a las especificaciones de la tabla 9 para la celda de carga.

En la gráfica 1, se puede observar la continuidad de los valores en relación al Par de torsión Vs Potencia, pero al llegar a su máximo de aceleración de cada porcentaje de freno en la posición de la mariposa del carburador, pierde par de torsión y gana por mínimo potencia del motor. Debido a que el motor adquiere exceso de aire pero minimiza su cantidad de combustible haciendo que el motor G1600 se ahogue.

En la gráfica 2, se puede observar que en ambas graficas hay un crecimiento de velocidad angular y potencia aproximadamente equitativa en los porcentajes de frenado, es decir que tiende a ser pendiente positivo para cada uno de las restricciones del frenado.

6.2. COMPORTAMIENTO DEL MOTOR G1600 FUNCIONANDO A GAS NATURAL COMPRIMIDO VEHICULAR (GNCV)

Debido a que los valores resultantes deben mantener una consistencia, la temperatura se pudo controlar el periodo de funcionamiento evitando llegar a los 90°C, si este valor era superado, el motor G1600 podría iniciar con sobrecalentamiento y daños en algunas partes del sistema.

6.2.1. Ecuación de conversión para la unidad de presión manométrica

La obtención de los valores fueron realizados en el motor G1600 de 2.7L (Litros), para proceder a manejarlo en un solo sistema de medición, fue necesario convertirlo del sistema inglesa PSI (Pounds-force per Square Inch) traducido al español (Libras por pulgada cuadrada) al sistema internacional Pa (Pascuales).

Para la utilización de las conversiones posteriores se deben de tener en cuenta las conversiones equivalentes siguientes:

$$1\text{PSI} = 1 \frac{\text{Lb}_F}{\text{pulg}^2}$$

$$1\text{Pa} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2} = \frac{1\text{Kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}{1\text{m}^2}$$

Para proceder a convertir esta unidad de PSI a Pa, es necesario decir que una pulgada cuadrada (1pulg^2) equivale a 0,00064516 metros cuadrados (0.00064516m^2), una libra fuerza (1Lb_F) equivale a 0,45359237 Kilogramos fuerza (0.45359237Kg_F), multiplicada por la gravedad $9,80665$ metros sobre segundo cuadrado ($9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$).

Ecuación 5.

$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{Lb}_F}{\text{pulg}^2} \cdot \frac{1\text{pulg}^2}{0.00064516\text{m}^2} \cdot \frac{0.45359237\text{Kg}_F}{1\text{Lb}_F} \cdot 9.80665 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

Ejemplo para Gas Natural Comprimido Vehicular:

Tomaremos del valor promedio 1, la presión del total promedio para el 25% de frenado comprobando el valor de presión PSI o $\frac{\text{Lb}_F}{\text{pulg}^2}$ convertido a Pa utilizando la ecuación 5.

El valor de la presión de 7,9PSI fue tomado de una aproximación del valor real de 7.933333333PSI

$$\text{Valor (Pa)} = 7.9 \frac{\text{Lb}_F}{\text{pulg}^2} \cdot \frac{1\text{pulg}^2}{0.00064516\text{m}^2} \cdot \frac{0.45359237\text{Kg}_F}{1\text{Lb}_F} \cdot 9.80665 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

$$\text{Valor (Pa)} = 54698.4079\text{Pa}$$

6.2.2. Valores obtenidos de las pruebas para GNCV

Tabla 18. Valores obtenidos para GNCV con el 25% de frenado

Para el 25% de fuerza de frenado				
Valor promedio 1				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	760,0	7,6	52400,1554	80,0
2	750,0	7,8	53779,1069	80,0
3	740,0	8,4	57915,9613	81,0
Total promedio	750,0	7,9	54698,4079	80,3

Valor promedio 2				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1180,0	11,0	75842,3302	80,0
2	1170,0	13,0	89631,8448	80,0
3	1160,0	15,5	106868,7380	82,0
Total promedio	1170,0	13,2	90780,9710	80,7

Valor promedio 3				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1770,0	10	68947,5729	81,0
2	1760,0	14	96526,6021	82,0
3	1750,0	17,5	120658,2526	82,0
Total promedio	1760,0	13,8	95377,4759	81,7

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Valores obtenidos para GNCV con el 50% de frenado

Para el 50% de fuerza de frenado				
Valor promedio 1				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	710,0	30,0	206842,7188	80,0
2	660,0	33,0	227526,9907	80,0
3	650,0	35,0	241316,5053	80,0
Total promedio	673,3	32,7	225228,7382	80,0

Valor promedio 2				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	990,0	31,0	213737,4761	80,0
2	940,0	35,0	241316,5053	81,0
3	920,0	38,0	262000,7771	81,0
Total promedio	950,0	34,7	239018,2528	80,7

Valor promedio 3				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1540,0	35,0	241316,5053	81,0
2	1530,0	37,0	255106,0198	81,0
3	1220,0	40,0	275790,2917	82,0
Total promedio	1430,0	37,3	257404,2723	81,3

Valor promedio 4				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2050,0	32,0	220632,2334	80,0
2	1960,0	36,0	248211,2626	80,0
3	1850,0	39,0	268895,5344	85,0
Total promedio	1953,3	35,7	245913,0101	81,7

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Valores obtenidos para GNCV con el 50% de frenado

Para el 75% de fuerza de frenado				
Valor promedio 1				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	530,0	45,0	310264,0782	80,0
2	490,0	50,0	344737,8647	80,0
3	480,0	54,0	372316,8938	81,0
Total promedio	500,0	49,7	342439,6122	80,3

Valor promedio 2				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	660,0	50,0	344737,8647	80,0
2	620,0	53,0	365422,1365	81,0
3	600,0	55,0	379211,6511	82,0
Total promedio	626,7	52,7	363123,8841	81,0

Valor promedio 3				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1120,0	52,0	358527,3792	80,0
2	980,0	54,0	372316,8938	81,0
3	880,0	57,0	393001,1657	82,0
Total promedio	993,3	54,3	374615,1463	81,0

Valor promedio 4				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1910,0	50,0	344737,8647	80,0
2	1820,0	53,0	365422,1365	82,0
3	1740,0	57,0	393001,1657	82,0
Total promedio	1823,3	53,3	367720,3890	81,3

Valor promedio 5				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2360,0	49,0	337843,1074	82,0
2	2210,0	51,0	351632,6220	82,0
3	2190,0	53,0	365422,1365	82,0
Total promedio	2253,3	51,0	351632,6220	82,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Valores obtenidos para GNCV con el 50% de frenado

Para el 100% de fuerza de frenado				
Valor promedio 1				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	330,0	60,0	413685,4376	80,0
2	330,0	60,0	413685,4376	80,0
3	330,0	60,0	413685,4376	80,0
Total promedio	330,0	60,0	413685,4376	80,0

Valor promedio 2				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	360,0	69,0	475738,2532	80,0
2	360,0	69,0	475738,2532	80,0
3	360,0	69,0	475738,2532	80,0
Total promedio	360,0	69,0	475738,2532	80,0

Valor promedio 3				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	640,0	72,0	496422,5251	80,0
2	630,0	75,0	517106,7970	81,0
3	620,0	77,0	530896,3116	82,0
Total promedio	630,0	74,7	514808,5446	81,0

Valor promedio 4				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1120,0	70,0	482633,0105	80,0
2	1010,0	73,0	503317,2824	81,0
3	980,0	77,0	530896,3116	82,0
Total promedio	1036,7	73,3	505615,5348	81,0

Valor promedio 5				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	1210,0	72,0	496422,5251	80,0
2	1180,0	75,0	517106,7970	81,0
3	1160,0	78,0	537791,0689	81,0
Total promedio	1183,3	75,0	517106,7970	80,7

Valor promedio 6				
	Nueva rpm	Presión (PSI)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
1	2410,0	70,0	482633,0105	80,0
2	2390,0	71,0	489527,7678	81,0
3	2350,0	73,0	503317,2824	82,0
Total promedio	2383,3	71,3	491826,0202	81,0

Fuente: elaboración propia

6.2.3. Ecuación de conversión de par de torsión (Nm) a potencia (J/seg)

La siguiente ecuación es utilizada en las tablas generales para Gas Natural Comprimido Vehicular.

Para la ecuación de par de torsión (Nm) es igual a la multiplicación de la presión manométrica en Pascales (Pa) por la distancia del centro del eje al embolo en metros (m) por el coeficiente del asbesto-hierro (K_{μ} ; valor constante) por el área de contacto del disco del freno con las pastillas de freno en metros cuadrados (m^2).

Ecuación 6.

$$\text{Valor (Nm)} = \frac{N}{m^2} \cdot m \cdot K_{\mu} \cdot m^2$$

Posteriormente el valor de la unidad de par de torsión (Nm) lo convertimos a valor de unidad de Potencia $\left(\frac{J}{seg}\right)$.

Ejemplo para Gas Natural Comprimido Vehicular:

Se tomara el valor de la presión manométrica de la Gas Natural Comprimido Vehicular y otros valores constantes.

- Presión manométrica = $54698,408 \frac{N}{m^2}$
- Distancia del embolo = 0,143m
- Coeficiente del asbesto – hierro (K_{μ}) = 0,32
- Área de contacto = $0,006911368m^2$

Aplicando lo anterior en la ecuación 6 se obtiene lo siguiente:

$$\text{Valor (Nm)} = 54698,408 \frac{N}{m^2} \cdot 0,143m \cdot 0,32 \cdot 0,006911368m^2$$

$$\text{Valor (Nm)} = 17,30Nm$$

Para obtener la potencia $\left(\frac{J}{seg}\right)$. El par de torsión (Nm) es multiplicado por las revoluciones sobre minuto $\left(\frac{rev}{min}\right)$, y las revoluciones por minuto se realiza una equivalencia en $\frac{rad}{seg}$ sabiendo que un minuto equivale sesenta segundos $\left(\frac{1min}{60seg}\right)$ y dos PI radianes equivale a una revolución $\left(\frac{2\pi rad}{1rev}\right)$.

Ecuación 7.

$$\text{Potencia} \left(\frac{J}{seg}\right) = Nm \cdot \frac{rev}{min} \cdot \frac{1min}{60seg} \cdot \frac{2\pi}{1rev}$$

Ejemplo para Gas Natural Comprimido Vehicular:

Tomaremos el primer valor de revolución por minuto de la celda de RPM con restricción del freno y lo convertiremos a radianes sobre segundo para obtener el primer valor de potencia en $\left(\frac{J}{seg}\right)$ aplicando la ecuación 7.

$$\text{Potencia} \left(\frac{J}{seg}\right) = 17,30Nm \cdot 750 \frac{rev}{min} \cdot \frac{1min}{60seg} \cdot \frac{2\pi}{1rev}$$

$$\text{Potencia} \left(\frac{\text{J}}{\text{seg}} \right) = 1358,67 \frac{\text{J}}{\text{seg}}$$

6.2.4. Ecuación de conversión de potencia (J/seg) a potencia (Hp)

Después de haber desarrollado la ecuación de potencia en la ecuación 3, se procederá a convertirlo la potencia a (Hp), sabiendo que 1 Horsepower (Hp) equivale a 745,69987158227022 watts (w) como se muestra en la ecuación 8.

Ecuación 8.

$$\text{Potencia (Hp)} = \text{valor (w)} \cdot \frac{1\text{HP}}{745,69987158227022\text{w}}$$

.Ejemplo para Gas Natural Comprimido Vehicular:

$$\text{Potencia (Hp)} = 1358,67\text{w} \cdot \frac{1\text{HP}}{745,69987158227022\text{w}}$$

$$\text{Potencia (Hp)} = 1,82\text{H}$$

Tabla 22. Tabla general de datos obtenidos para GNCV

Tabla de datos para Gas Natural Comprimido Vehicular (GNCV)						
Clasificación de la fuerza de frenado	Ángulo de aceleración (grados)	RPM sin restricción del freno	Celda de carga (Kgf)	RPM con restricción del freno	Presión Manométrica (Pa)	Temperatura (°C)
Fuerza del frenado al 25%	15	820	11,55	750,0	54698,408	80,3
	30	1980		1170,0	90780,971	80,7
	45	2600		1760,0	95377,476	81,7
Fuerza del frenado al 50%	15	820	23,10	673,3	225228,738	80,0
	30	1980		950,0	239018,253	80,7
	45	2600		1430,0	257404,272	81,3
	60	3130		1953,3	245913,010	81,7
Fuerza del frenado al 75%	15	820	34,65	500,0	342439,612	80,3
	30	1980		626,7	363123,884	81,0
	45	2600		993,3	374615,146	81,0
	60	3130		1823,3	367720,389	81,3
	75	3690		2253,3	351632,622	82,0
Fuerza del frenado al 100%	15	820	46,20	330,0	413685,438	80,0
	30	1980		360,0	475738,253	80,0
	45	2600		630,0	514808,545	81,0
	60	3130		1036,7	505615,535	81,0
	75	3690		1183,3	517106,797	80,7
	90	3980		2383,3	491826,020	81,0

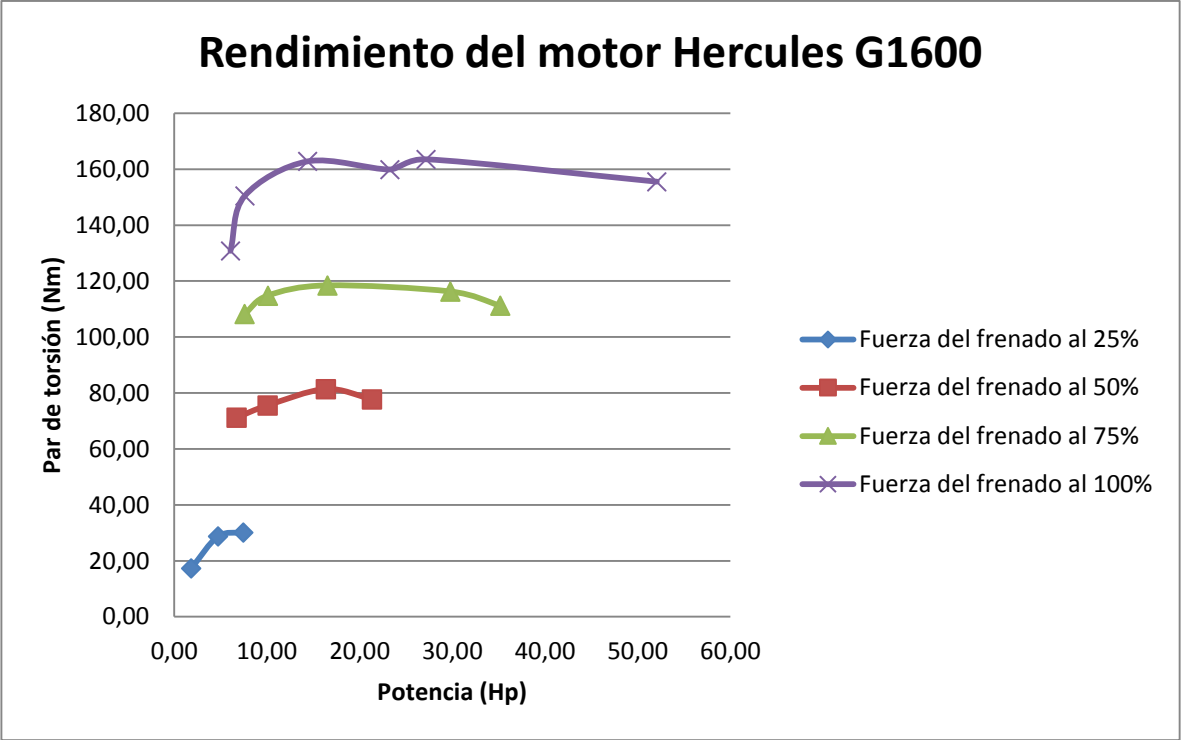
(a)

Tabla de datos para Gas Natural Comprimido Vehicular (GNCV)						
Clasificación de la fuerza de frenado	Área de contacto (m ²)	Coefficiente del asbesto - hierro (kμ)	Distancia del embolo (m)	Par de Torsión (Nm)	Potencia (J/s)	Potencia (Hp)
Fuerza del frenado al 25%	0,006911368	0,320	0,143	17,30	1358,67	1,82
	0,006911368	0,320	0,143	28,71	3517,70	4,72
	0,006911368	0,320	0,143	30,16	5559,52	7,46
Fuerza del frenado al 50%	0,006911368	0,320	0,143	71,23	5022,65	6,74
	0,006911368	0,320	0,143	75,59	7520,27	10,08
	0,006911368	0,320	0,143	81,41	12190,75	16,35
	0,006911368	0,320	0,143	77,77	15908,77	21,33
Fuerza del frenado al 75%	0,006911368	0,320	0,143	108,30	5670,65	7,60
	0,006911368	0,320	0,143	114,84	7536,51	10,11
	0,006911368	0,320	0,143	118,48	12324,21	16,53
	0,006911368	0,320	0,143	116,30	22205,60	29,78
	0,006911368	0,320	0,143	111,21	26241,78	35,19
Fuerza del frenado al 100%	0,006911368	0,320	0,143	130,83	4521,29	6,06
	0,006911368	0,320	0,143	150,46	5672,17	7,61
	0,006911368	0,320	0,143	162,82	10741,50	14,40
	0,006911368	0,320	0,143	159,91	17359,54	23,28
	0,006911368	0,320	0,143	163,54	20265,90	27,18
	0,006911368	0,320	0,143	155,55	38821,73	52,06

(b)

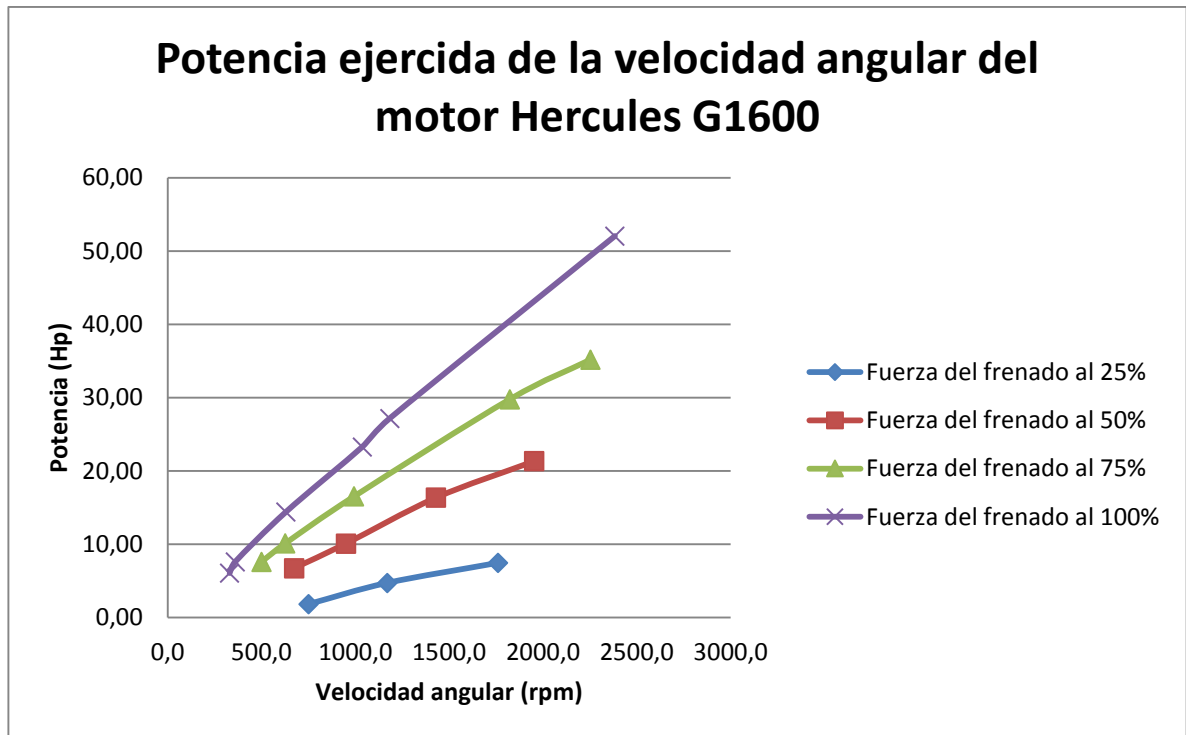
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3. Par de torsión Vs Potencia para GNCV



Fuente: elaboración propia

Gráfica 4. Potencia Vs Velocidad angular para GNCV



Fuente: elaboración propia

Nota: Las pruebas fueron realizadas de acuerdo a las especificaciones de la tabla 9 para la celda de carga.

En la gráfica 3, se puede observar la continuidad de los valores en relación al Par de torsión Vs Potencia, pero al llegar a su máximo de aceleración de cada porcentaje de freno en la posición de la mariposa del carburador, pierde par de torsión y gana por mínimo potencia del motor. Debido a que el motor adquiere exceso de aire pero minimiza su cantidad de combustible haciendo que el motor G1600 se ahogue.

En la gráfica 4, se puede observar que en ambas graficas hay un crecimiento de velocidad angular y potencia aproximadamente equitativa en los porcentajes de frenado, es decir que tiende a ser pendiente positivo para cada uno de las restricciones del frenado.

6.3. CÁLCULO DE PÉRDIDA DE POTENCIA UTILIZANDO LA CONVERSIÓN DE GASOLINA A GNCV EN EL MOTOR G1600

Para realizar un análisis más detallado en las pruebas realizadas en el motor G1600 utilizando Gasolina y Gas Natural Comprimido Vehicular (GNCV), es necesario analizar las pérdidas de potencia cuando el motor de combustión interna (motor G1600) está en funcionamiento de Gasolina y pasa a funcionar con combustibles de GNCV.

Para el cálculo de pérdida de potencia se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 9.

$$\text{Pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (\%)} = \text{porcentaje de referencia} - \left(\frac{\text{potencia (Hp) en GNCV} \cdot \text{porcentaje de referencia}}{\text{potencia (Hp) en Gasolina}} \right)$$

Ejemplo de pérdida de potencia:

Tomando los primeros valores de la tabla 23, se procederá a realizar el cálculo de acuerdo a la ecuación 9.

$$\text{Pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (\%)} = 100\% - \left(\frac{1.82\text{Hp} \cdot 100\%}{3.41\text{Hp}} \right)$$

$$\text{Pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (\%)} = 46.62\%$$

Para obtener un promedio de pérdidas en cada periodo o porcentaje de frenado se realiza un promedio entre los valores del mismo periodo.

A continuación se mostrara la ecuación de promedio para cada periodo.

Ecuación 10.

$$\text{Total promedio} = \frac{\sum \text{pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (\%)}}{\text{Cantidad de valores de pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (\%)}}$$

Ejemplo de promedio de pérdidas de potencia:

$$\text{Total promedio} = \frac{46.62\% + 47.33\% + 29.59\%}{3}$$

$$\text{Total promedio} = 41.18\%$$

A continuación se mostrara las tablas de pérdida de potencia en Horsepower (Hp) para cada estado de posición de la mariposa del carburador.

Tabla 23. Pérdida de potencia (Hp) en cada porcentaje de frenado dado

Pérdida de potencia (Hp) para el 25% de frenado				
Clasificación de la fuerza de frenado	porcentaje de referencia	Potencia (Hp) en Gasolina	Potencia (Hp) en GNCV	Pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (%)
Fuerza del freno al 25%	100%	3,41	1,82	46,62%
	100%	8,96	4,72	47,33%
	100%	10,59	7,46	29,59%
Total Promedio 1		7,65	4,66	41,18%

(a)

Pérdida de potencia (Hp) para el 50% de frenado				
Clasificación de la fuerza de frenado	porcentaje de referencia	Potencia (Hp) en Gasolina	Potencia (Hp) en GNCV	Pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (%)
Fuerza del freno al 50%	100%	6,61	6,74	-1,85%
	100%	14,99	10,08	32,73%
	100%	20,82	16,35	21,47%
	100%	23,70	21,33	9,99%
Total Promedio 2		16,53	13,63	15,59%

(b)

Pérdida de potencia (Hp) para el 75% de frenado				
Clasificación de la fuerza de frenado	porcentaje de referencia	Potencia (Hp) en Gasolina	Potencia (Hp) en GNCV	Pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (%)
Fuerza del freno al 75%	100%	7,91	7,60	3,81%
	100%	14,28	10,11	29,21%
	100%	21,63	16,53	23,58%
	100%	28,10	29,78	-5,99%
	100%	36,31	35,19	3,08%
Total Promedio 3		21,64	19,84	10,74%

(c)

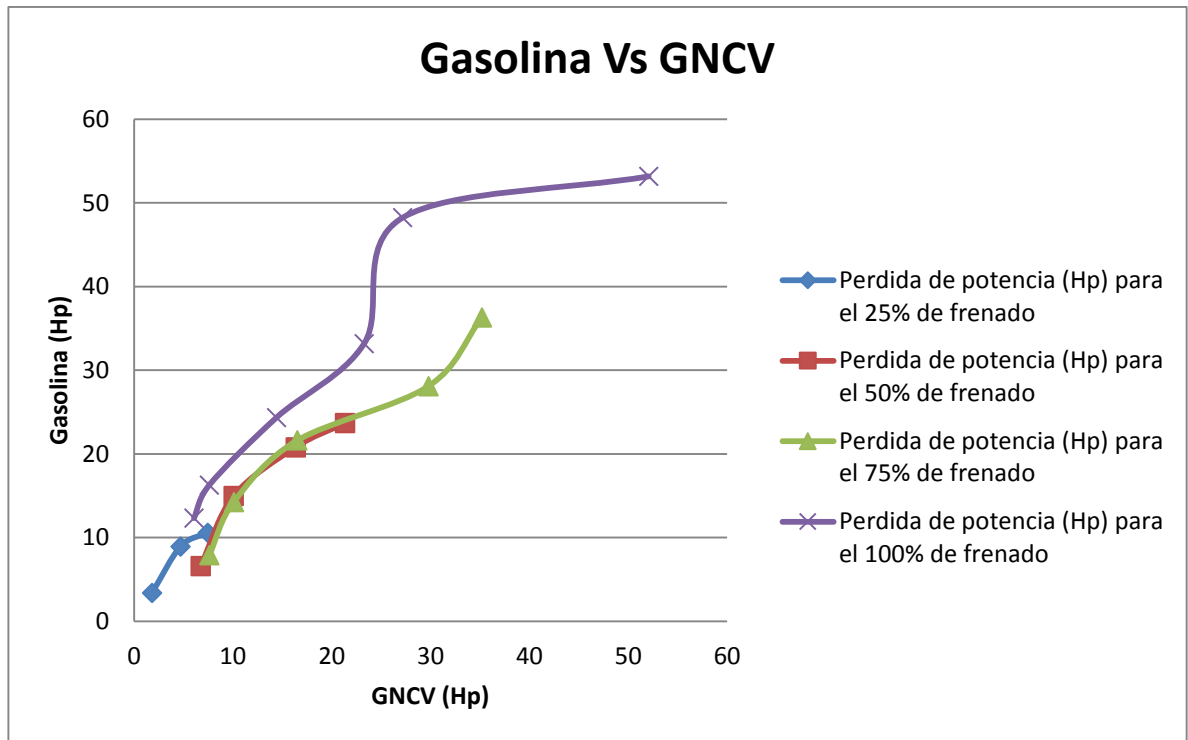
Pérdida de potencia (Hp) para el 100% de frenado				
Clasificación de la fuerza de frenado	porcentaje de referencia	Potencia (Hp) en Gasolina	Potencia (Hp) en GNCV	Pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (%)
Fuerza del freno al 100%	100%	12,34	6,06	50,85%
	100%	16,28	7,61	53,27%
	100%	24,35	14,40	40,85%
	100%	33,19	23,28	29,86%
	100%	48,24	27,18	43,67%
	100%	53,18	52,06	2,10%
Total Promedio 4		31,26	21,77	36,77%

(d)

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente se generó la siguiente grafica que hace referencia a la diferencias de los valores de potencia para hacer comparación entre la Gasolina y el GNCV.

Gráfica 5. Comparación de las potencias de la Gasolina Vs GNCV para cada porcentaje de frenado



Fuente: elaboración propia

Para dar el valor general de la pérdida de potencia (Hp) convirtiendo de Gasolina a Gas Natural Comprimido Vehicular en el motor G1600 se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 24. Perdida promedio de potencia en Hp

Pérdida de potencia (Hp) promedio para los estados de frenado en porcentaje (%)	
Total Promedio 1	41,18%
Total Promedio 2	15,59%
Total Promedio 3	10,74%
Total Promedio 4	36,77%
Pérdida promedio de potencia (Hp) en porcentaje (%)	26,07%

Fuente: elaboración propia

Debido a que los vehículos automotores están en movimiento, la potencia varía dependiendo del terreno en que se encuentran y la velocidad impuesta en el motor de combustión interna, por ende se dará la siguiente ecuación con el fin de encontrar un valor promedio de pérdida de potencia cuando se utiliza de Gasolina a Gas Natural Comprimido Vehicular.

La pérdida de potencia (Hp) en porcentaje (%) es igual al promedio del total de promedios como lo ilustra la ecuación 11.

Ecuación 11.

Pérdida promedio de potencia (Hp) en porcentaje (%)

$$= \frac{\sum \text{total promedio}}{\text{cantidad del numero de datos total promedio}}$$

Ejemplo de perdida promedio de potencia (Hp) en porcentaje (%):

Pérdida promedio de potencia (Hp) en porcentaje (%)

$$= \frac{41.18\% + 15.59\% + 10.74\% + 36.77\%}{4}$$

Pérdida promedio de potencia (Hp) en porcentaje (%) = 26.07%

Al realizar el promedio de cada uno de los promedios de los estados de frenado (tabla 23a, tabla 23b, tabla 23c y tabla 23d) en porcentaje (%), se puede dar a conocer que el porcentaje de pérdidas de potencia es del 26,07%.

6.4. MEDICIÓN DE VOLTAJE PARA GASOLINA Y GNCV EN DOS PUNTOS DE ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD ANGULAR

En el capítulo 5.1.1, se mencionó los pasos a seguir para la obtención de los valores de voltaje y velocidad angular de acuerdo a las condiciones propuestas de ángulo de avance del instrumento luz de sincronización, consiguientemente se procederá a contemplar y analizar los resultados obtenidos.

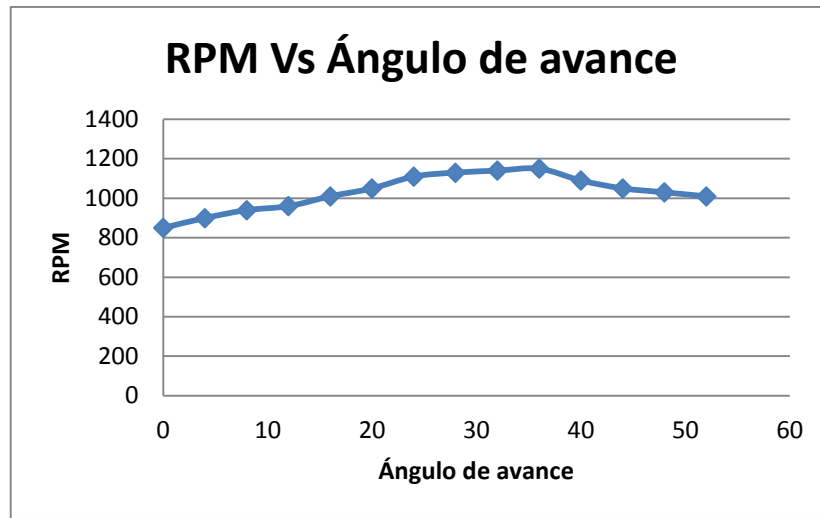
6.4.1. Medición de voltaje y velocidad angular en ralentí o vacío

Tabla 25. Valores obtenidos de velocidad angular y voltaje para gasolina

Ángulo de avance (θ)	Velocidad angular (RPM)	Voltaje (V)
0	850	0,900
4	900	0,911
8	940	0,916
12	960	0,917
16	1010	0,917
20	1050	0,918
24	1110	0,922
28	1130	0,919
32	1140	0,909
36	1150	0,897
40	1090	0,885
44	1050	0,871
48	1030	0,856
52	1010	0,842

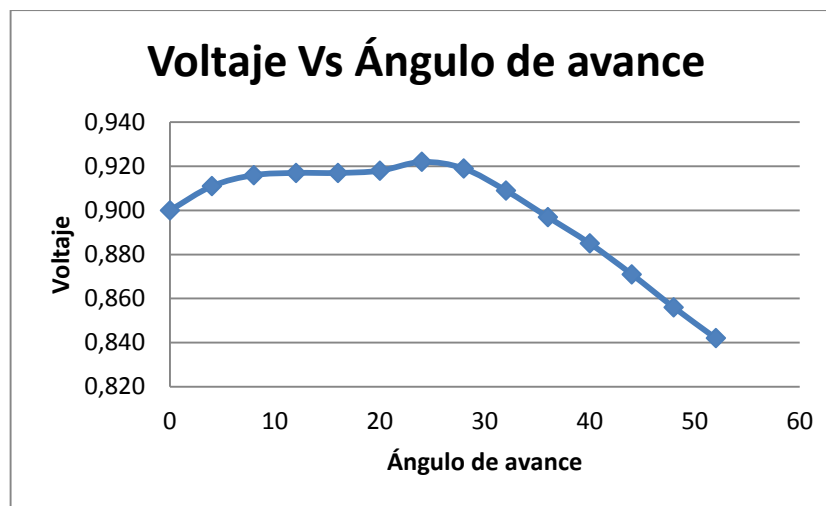
Fuente: elaboración propia

Gráfica 6. Velocidad angular (RPM) Vs Ángulo de avance para gasolina



Fuente: elaboración propia

Gráfica 7. Voltaje Vs Ángulo de avance para gasolina



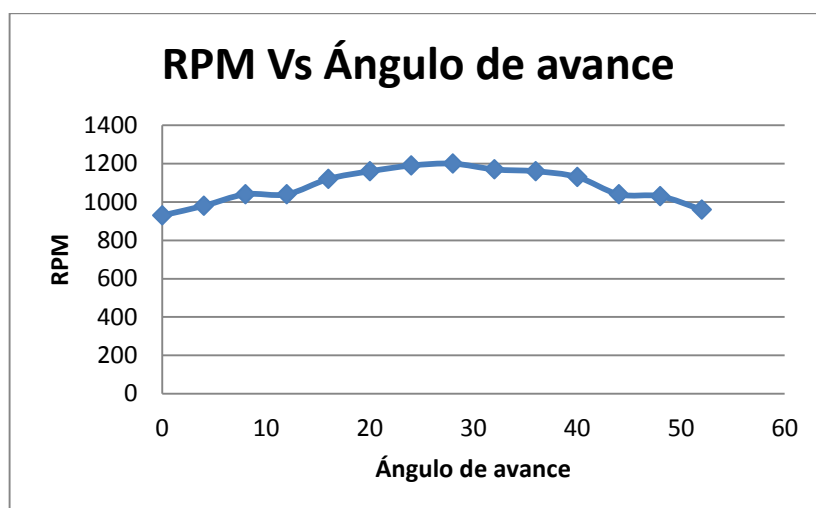
Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Valores obtenidos de velocidad angular y voltaje para GNCV

Ángulo de avance (θ)	Velocidad angular (RPM)	Voltaje (V)
0	930	0,258
4	980	0,259
8	1040	0,261
12	1040	0,263
16	1120	0,282
20	1160	0,310
24	1190	0,321
28	1200	0,333
32	1170	0,322
36	1160	0,305
40	1130	0,291
44	1040	0,274
48	1030	0,262
52	960	0,255

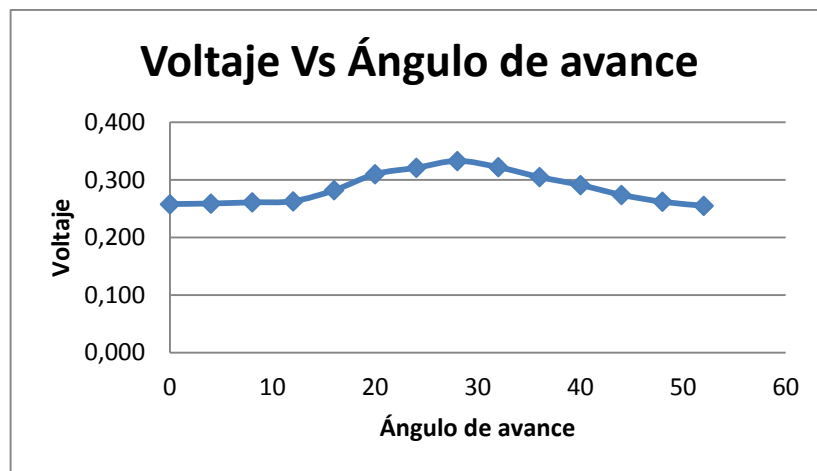
Fuente: elaboración propia

Gráfica 8. Velocidad angular (RPM) Vs Ángulo de avance para GNCV



Fuente: elaboración propia

Gráfica 9. Voltaje Vs Ángulo de avance para GNCV



Fuente: elaboración propia

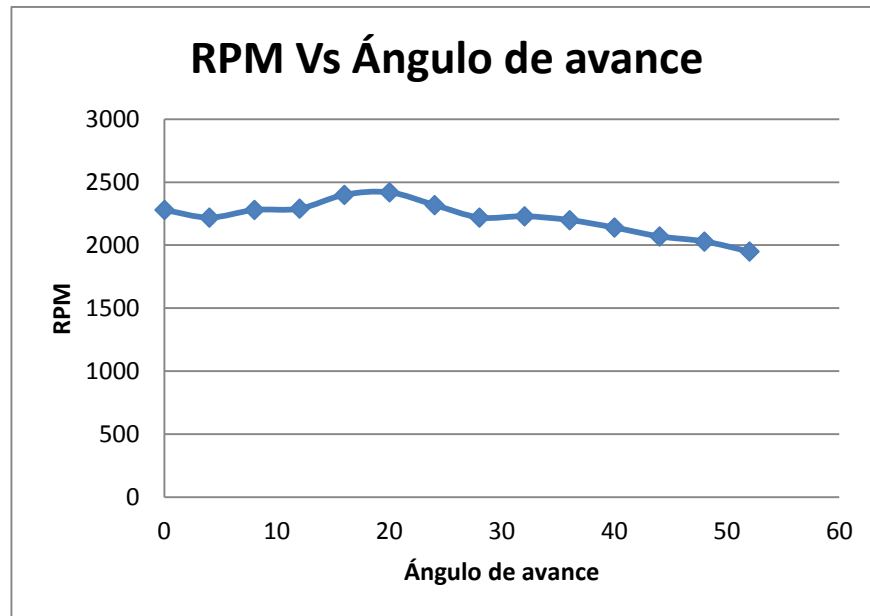
6.4.2. Medición de voltaje y velocidad angular con carga de 23.11 Kgf o 35 PSI a 45 grados en posición de la mariposa

Tabla 27. Valores obtenidos de velocidad angular y voltaje para gasolina

Ángulo de avance (°)	Velocidad angular (RPM)	Voltaje (V)
0	2280	0,252
4	2220	0,262
8	2280	0,279
12	2290	0,290
16	2400	0,308
20	2420	0,320
24	2320	0,321
28	2220	0,322
32	2230	0,356
36	2200	0,402
40	2140	0,331
44	2070	0,293
48	2030	0,259
52	1950	0,240

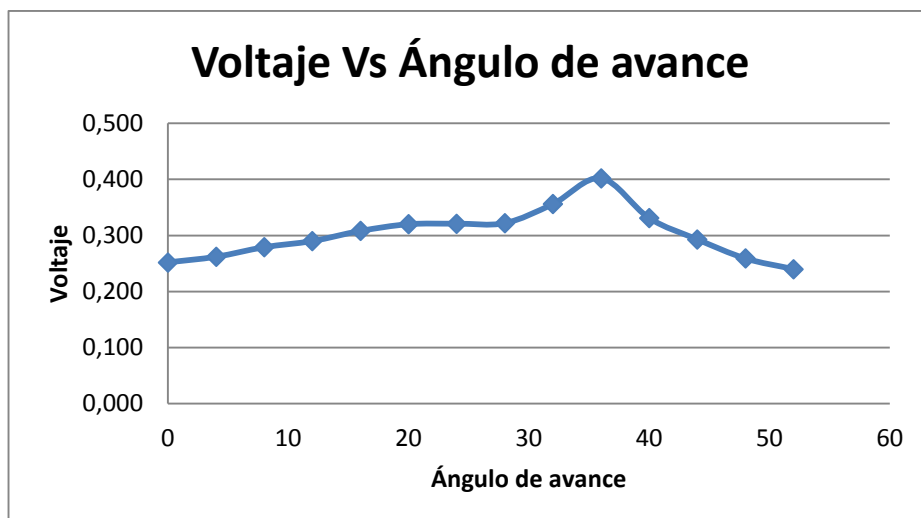
Fuente: elaboración propia

Gráfica 10. Velocidad angular (RPM) Vs Ángulo de avance para gasolina



Fuente: elaboración propia

Gráfica 11. Voltaje Vs Ángulo de avance para gasolina



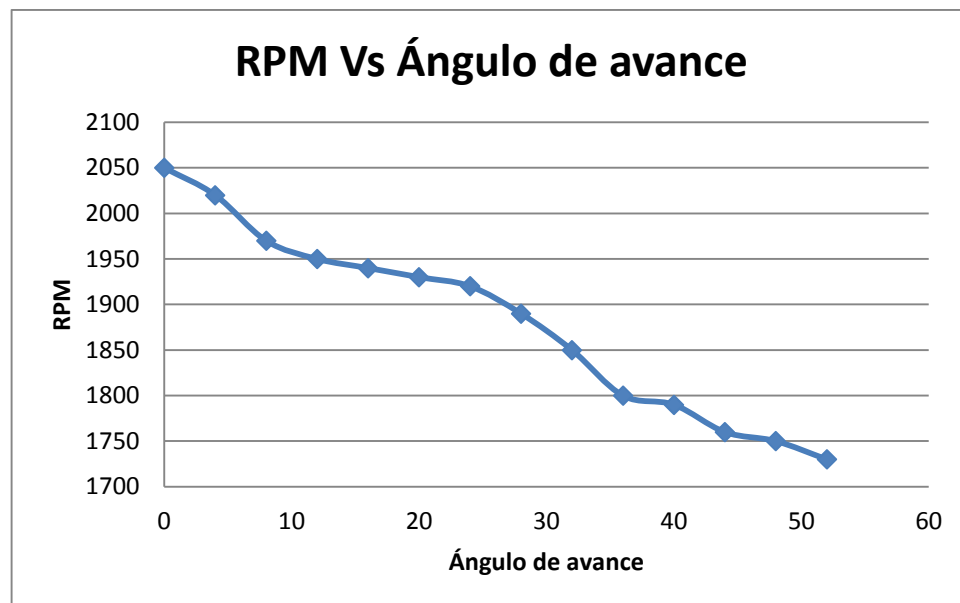
Fuente: elaboración propia

Tabla 28. Valores obtenidos de velocidad angular y voltaje para GNCV

Ángulo de avance (θ)	Velocidad angular (RPM)	Voltaje (V)
0	2050	0,388
4	2020	0,350
8	1970	0,335
12	1950	0,296
16	1940	0,274
20	1930	0,236
24	1920	0,187
28	1890	0,181
32	1850	0,177
36	1800	0,176
40	1790	0,169
44	1760	0,175
48	1750	0,160
52	1730	0,155

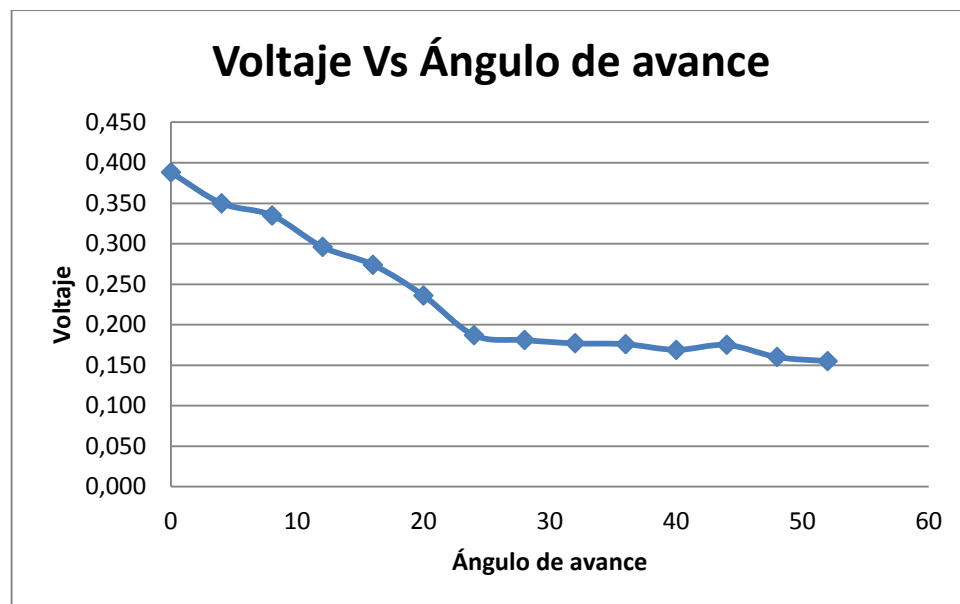
Fuente: elaboración propia

Gráfica 12. Velocidad angular (RPM) Vs Ángulo de avance para GNCV



Fuente: elaboración propia

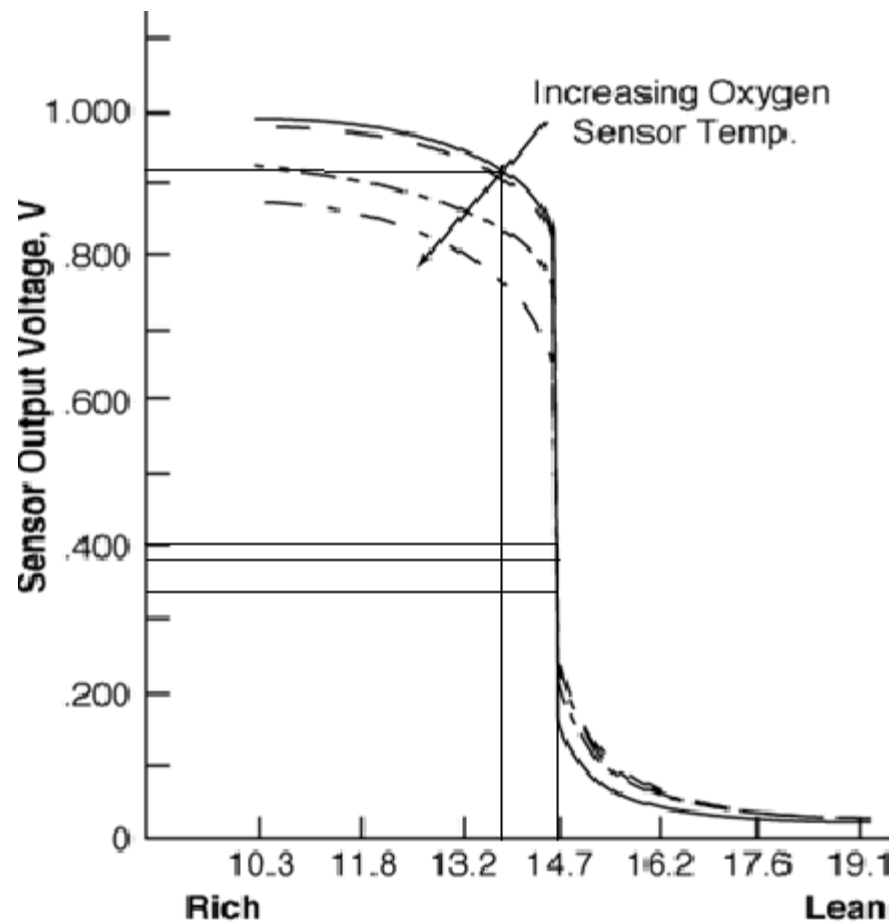
Gráfica 13. Voltaje Vs Ángulo de avance para GNCV



Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los valores obtenidos de la prueba, se tomaron los valores máximos de Voltaje Vs Ángulo de avance para Gasolina como para GNCV en los dos estados trabajados, y se posicionaron en la figura 50, para la determinación de la posición de ángulo del avance de chispa apropiado a usar.

Figura 50. Tensión de salida del sensor de oxígeno Vs relación aire – combustible



Fuente: elaboración propia

7. CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos de las pruebas dadas en la utilización de los combustibles (Gasolina y Gas Natural Comprimido Vehicular), solamente fueron operadas a condiciones de funcionamiento de la Gasolina acondicionado en el motor G1600, por esta razón la pérdida de potencia fue muy alto con un valor de 26,07%, el cual supera un valor sugerido del 15% máxima de pérdida de potencia.
- De acuerdo a la figura 50 en la “Medición de voltaje para gasolina y gas natural en dos puntos de análisis en función de la velocidad angular”, los valores de relación aire – combustible (λ) están comprendidos entre 13,5 y 14,7 el cual, los valores óptimos de medición deben ser muy cercanos a 14,7.
- Para mejor trabajo de avance de chispa se aconseja trabajar entro los ángulos de 16 grados del avance de chispa hasta 18 grados del avance de chispa para evitar perdida de combustible y deficiencia en máxima aplicación de carga.
- Los valores de voltaje de acuerdo al sensor de oxígeno (sensor λ) en el motor G1600 hacen que la combustión sea rica, es decir la mezcla tiene un exceso de oxígeno el cual no es beneficioso a la hora de la combustión ya que el motor de combustión interna no mantendría un estado de funcionamiento y haría el malgasto del combustible.
- Las mediciones de voltaje utilizando el sensor de oxígeno 2244 con un voltímetro en el motor G1600, no muestran un valor congruente de voltaje en estado ralentí (vacío) o trabajando a una presión de fuerza de frenado de 35 PSI y una posición de la mariposa del carburador de 45°, el cual no se puede proceder con las pruebas de potencia utilizando Gasolina y Gas Natural Comprimido Vehicular (GNCV).

8. RECOMENDACIONES

- Revisión del motor G1600, para verificar si existió algún tipo de daño en la conversión de Gas Natural comprimido Vehicular (GNCV)
- Revisión del sensor λ (lambda), pudo haberse averiado en otras pruebas ajena al proyecto del uso de los combustibles (Gasolina y GNCV).
- Ejecutar el método de procedimiento experimental adecuadamente para obtener los datos de potencia adecuados.
- Alejar los combustibles de zonas eléctricas para evitar riegos al personal del Laboratorio de Motores de Combustión Interna.
- Prevenir que otras personas ajenas al uso del motor G1600 estén manipulándolo sin la debida información adecuada.

9. COSTOS DEL PROYECTO EXPERIMENTAL

COMPONENTES PRINCIPALES MOTOR G1600			
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
RODACHINA 2 PU 03 A FRENO	2	5.172	11.999
RODACHINA 2 DOLLY 20A FIJA	2	3.448	7.999
ELECTROVALVULA DE GASOLINA	1	43.103	50.000
ANGULO DE OCTAVO POR 1/1	1	25.862	30.000
KIT GAS NATURAL VEHICULAR	1	301.724	350.000
JUNTA	1	11.638	13.500
SUBTOTAL COMPONENTE MOTOR G			463.498

COMPONENTES SECUNDARIOS			
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ABRAZADERAS	2	2.586	6.000
SOLDADURA ELECTRICA SUPER SW-613		3.793	4.400
SOLDADURA ELECTRICA 60-13 1/8	0,5	3.347	3.882
KLAUS CLASIFICADOR C	5	148	860
TCA A G2 M 4	4	9	42
C/P M GAL 4*40	4	50	232
ZCRN AMARRE PLASTICO 15 CM	10	30	348
ZCRN AMARRE PLASTICO 30 CM	10	109	1.266
H20Z TLLO HEX G2 ZINC 5/16 * 1,1/4	16	105	1.945
TSEG TUERCA SEGURIDAD RO 5/16	16	41	763
VAPZ ARANDELA ZINCADA 5/16	16	51	947
TINER BOTELLA	1	2.586	3.000
ESMALTE COMERCIAL T.2 NEGRO	0,125	34.483	5.000
ESMALTE COMERCIAL T.2 ROJO	0,25	34.483	10.000
ANTICORROSIVO GRIS GALON	0,03	55.619	1.936
TINER BOTELLA	1	2.586	3.000
CINTA TEFLON 5M	1	431	500
CINTA 1/2 40 M AUTOMOTRIZ	1	1.724	2.000
SILICONA LOCTITE	1	3.716	4.310
MATERIAL CONSUMIBLE	1	8.621	10.000
VARIOS ELECTRICOS		20.948	24.300
VARIOS TORNILLERIA		3.448	4.000
SUBTOTAL COMPONENTES COMPLEMENTARIOS			88.730

OTROS GASTOS DEL PRODUCTO			
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
DISCO DE CORTE 4 1/2"	2	3.448	8.000
VARIOS GASOLINA CORRIENTE			98.000
LIJA # 150	1	862	1.000

BROCHA MONA 1/2"	1	1.724	2.000
SUBTOTAL GASTOS DEL PRODUCTO			109.000
TOTAL VALOR PROYECTO			661.228

BIBLIOGRAFÍA

- PRO GAS S.A., professional performance, conversión de vehículos de transporte urbano, septiembre. 2005. Disponible en internet:<http://www.progas.com.ar/phpbb/viewtopic.php?t=30&sid=c32b89a33a3f88f8ed2f7c40011fc9e9>
- Club Jeeps Willys Clásico, pag. 2. mayo. 2010. Disponible en internet: http://www.jeepclasico.com/foro/foro_antiguo/mecanica/reparacion_mi_godevil/pag_e15.html
- Motorpasión moto, mecánica básica, funcionamiento del motor de cuatro tiempos, febrero. 2010. Disponible de internet: <http://www.motorpasionmoto.com/tecnologia/mecanica-basica-funcionamiento-del-motor-de-cuatro-tiempos>
- GoPixPic, Radiador Vitara Sidekick 16 Autom Med 377 X 488. Disponible en internet: http://www.gopixpic.com/1200/radiador-vitara-sidekick-1-6-autom-med-377-x-488-grand-/http:%7C%7Cbimg2*mlstatic*com%7Cradiador-vitara-sidekick-16-autom-med-377-x-488_MLB-F-224646044_4397*.jpg/
- EL MUNDO DE LAS MAQUINAS [online], agosto. 2013, SISTEMAS DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. Disponible en internet: [URL:http://solucionar-problemas-maquinaria.blogspot.com/2013/08/sistemas-de-lubricacion-del-motor-de.html](http://solucionar-problemas-maquinaria.blogspot.com/2013/08/sistemas-de-lubricacion-del-motor-de.html)
- HERCULES ENGINE COMPANY, basic engine model G 1600, printed in USA. Bulletin No 1011.
- BURI GAS VEHICULAR, primeira instaladora do BRASIL certificada pelo INMETRO [online], número de registro 001, [Boca do Rio, Brasil], componentes GNV. Disponible en internet: [URL:http://www.buri.com.br/prg_com.cfm](http://www.buri.com.br/prg_com.cfm)
- SALUSTRI, ficha técnica del producto válvula para cilindro GNC [online], norma 990-1 NAG 415/416/417, [Mar de Plata, Argentina]. Disponible en internet: [URL:http://www.salustri.com.ar/Ficha%20Tecnica%20de%20Valvula%20de%20Cilindro%20tipo%20ARGENTINA.htm](http://www.salustri.com.ar/Ficha%20Tecnica%20de%20Valvula%20de%20Cilindro%20tipo%20ARGENTINA.htm)
- GASITALY. Catálogo de productos GLP / GNC [online]. Tecnología italiana. 2012. Disponible en internet: [URL:http://www.gasitaly.com/download/GASITALY%20Catalogue%202012%20-%20SPA.pdf](http://www.gasitaly.com/download/GASITALY%20Catalogue%202012%20-%20SPA.pdf)
- AUTOGAS ITALIA. Los productos – mezcladores [online]. [Modena, Italia]. Mayo 2013. Disponible en internet: [URL:http://www.autogasitalia.it/db/cat1.asp?lan=spa&id=9](http://www.autogasitalia.it/db/cat1.asp?lan=spa&id=9)

- GRIFOS Y ESTACIONES DE GLP Y GNV. MENDOZA, Víctor. Instalación de equipo GLP [online], [Lima, Perú]. Disponible en internet:URL:<http://grifosyestacionesglp.com/page008.aspx>
- MONTENEGRO MIER, Manuel Antonio; PEREZ GAYÓN, Pedro Ivan; SIERRA HIGUERA, Roberto; HERRERA REMOLINA, Salomon. Gas natural comprimido vehicular, Preconversión de vehículos. SENA Regional de Bogotá y Cundinamarca. 2002. 121 p.
- MONTENEGRO MIER, Manuel Antonio; PEREZ GAYÓN, Pedro Ivan; SIERRA HIGUERA, Roberto; HERRERA REMOLINA, Salomon. Gas natural comprimido vehicular, Conversión y Postconversión. SENA Regional de Bogotá y Cundinamarca. 2002. 75 p
- Multímetro digitales de Fluke; EE.UU (800) 443-5853, Fax (425) 446-5116; pag. 6, [online]. Disponible en internet:URL:<http://www.fluke.com>
- A strong Brand in your system; racores para manguera, [online]. Disponible en internet:URL:<http://www.rs-seliger.de/es/productos/acoples-para-la-conexion-de-mangueras/racores-para-manguera/racores-para-manguera.html>
- RCH protección auditiva, [online]. Disponible en inetrnet:URL:http://rchmaquinarias.com/productos/index.php?cPath=42_147
- FERRICAMPOS campos ferreteros industriales S.A.S., calle 12 A No 27 - 73 (Ricaurte – Bogotá), [online]. Disponible en internet:URL:<http://www.ferricamposas.com/portfolio/proteccion-visual/>

ANEXOS

Anexo 1. Informe sobre las mediciones de desempeño del motor Hércules G1600 operando con tres combustibles.

Ante la necesidad de valorar el comportamiento comparado de tres combustibles: gasolina comercial (E10), etanol y *combustible verde de usuario*, considerando que no se dispone de un banco, ni un protocolo diseñados especialmente para este propósito, en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna se aceptó realizar mediciones de potencia y emisiones bajo las condiciones de pruebas académicas en un banco de fricción adaptado a un motor Hércules G1600. Este motor está acoplado a un freno de disco y puede cargarse por períodos cortos. Para la medición de las emisiones se dispone de un analizador de gases de taller y con la instrumentación manual se pueden realizar mediciones que cumplen con las necesidades conceptuales, pero no pueden usarse para reportes formales por no ajustarse a la normativa de pruebas.

El banco del motor Hércules puede cargarse con resistencias de par que dan hasta 25 kW (un cuarto de la potencia de catálogo), bajo cuatro posiciones constantes de la mariposa de aceleración. El sistema de alimentación del motor es por carburador y éste está dimensionado y posee surtidores para trabajar con gasolina como combustible dedicado.

Las características del motor son las descritas en la Tabla 1 y la característica de potencia es la presentada en la figura 1.

Tabla 1. Características del motor

Características del Motor Hercules Engine 2,7L	
Modelo	G1600
Número de cilindros	4
Tipo	Eje horizontal, monocilíndrico, 4 tiempos
Equipamiento estándar	
Bomba de combustible	Mecánica con filtración de elementos
Sistema de Ignición	Distribuidor electrónico (BID), bobina de encendido
Especificaciones	
Diámetro de carrera	10,16 x 8,3 cm
Longitud de biela	9,1 cm
Desplazamiento del pistón	2671,1 cm ³
Relación de compresión	2,45
Potencia Máxima	37 kW / 4000 min ⁻¹
Potencia Continua	26 kW / 3600 min ⁻¹
Combustible	Gasolina para automóviles

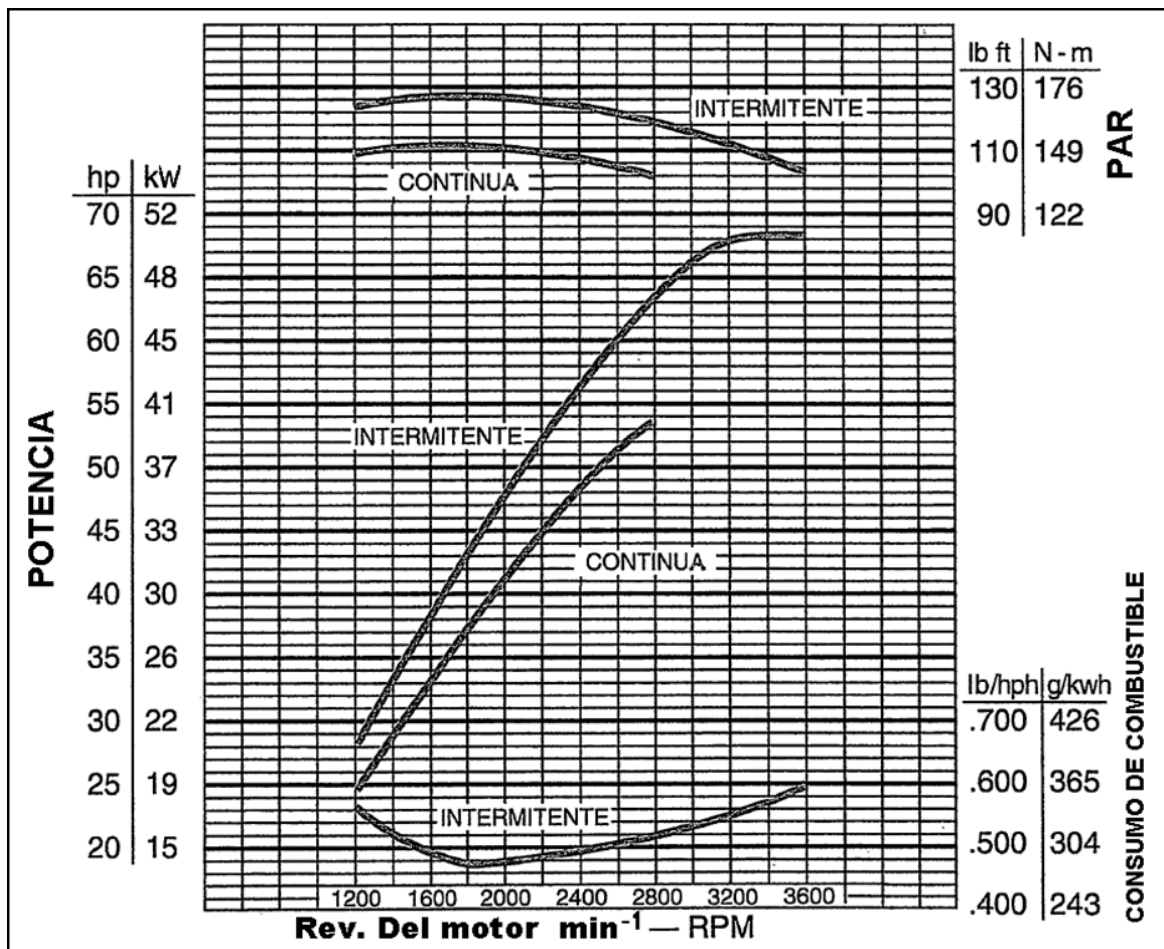


Figura 1. Curvas de potencia Vs velocidad de rotación y Par Vs velocidad de rotación

Se denominan características de velocidad del motor a las gráficas que relacionan los principales indicativos efectivos como la potencia N_e , y el par M_e , el consumo por hora de combustible G_c el consumo específico de combustible g_e , en función de la velocidad angular del cigüeñal ω_e (n), para una posición constante del elemento de control de la aceleración y un régimen térmico estabilizado. Las características de velocidad pueden obtenerse para diferentes, pero constantes para cada característica, posiciones del órgano de aceleración. La característica que se obtiene para desplazamientos inferiores del órgano de aceleración se denomina características parciales de velocidad. En el trabajo de laboratorio con los tres combustibles se convino realizar características de velocidad parciales, de carga y de emisiones.

Con las consideraciones hechas, se ha propuesto realizar pruebas de operación en:

- Marcha en vacío
- Carga a 25, 50 y 75 % de la disponible en el banco, bajo tres posiciones de apertura de la mariposa de aceleración.

- Características de velocidad parciales

1. Comportamiento del motor en vacío.

Consumo de combustible del motor en vacío

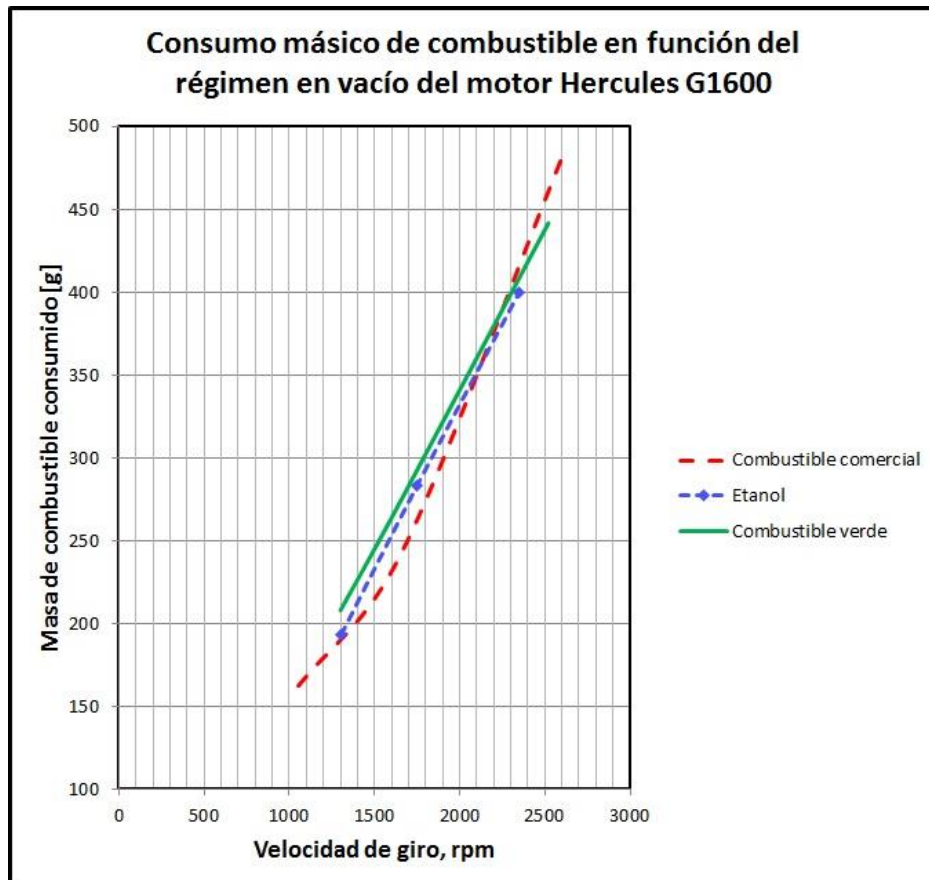


Figura 2. Consumo de combustible del motor en vacío en función de las revoluciones del motor.

Los resultados del consumo permiten ver un ligero incremento del consumo de combustible verde y del etanol, por encima del consumo del combustible comercial. En vacío es ligeramente mayor el consumo de combustible verde.

2. Comportamiento del motor bajo cargas parciales

Para un barrido de potencias del motor dentro de los límites disponibles de capacidad de carga, se probó el motor con los tres combustibles en tres posiciones de la mariposa de aceleración y se vio la variación del par, como lo ilustra la figura 3.

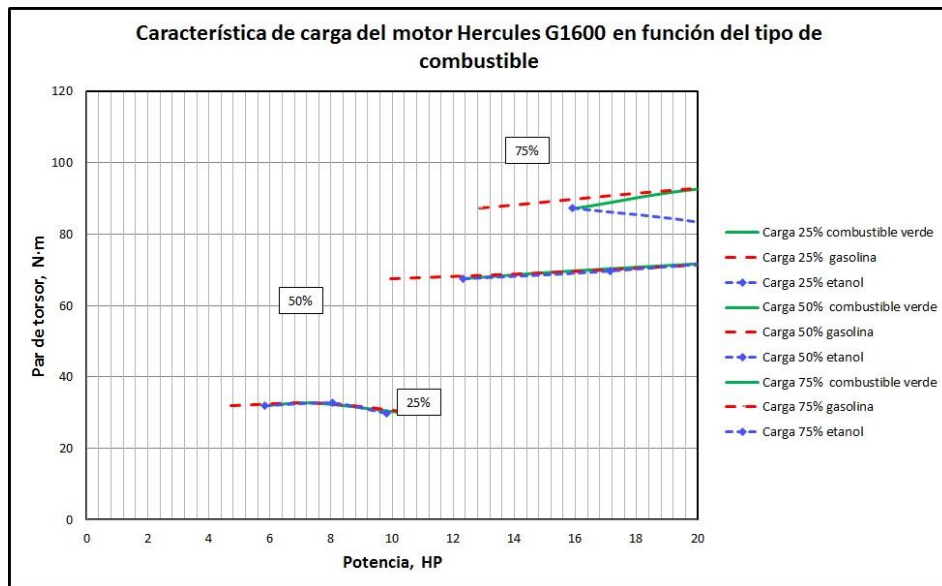


Figura 3. Características de carga del motor operando a diferentes velocidades y con diferentes posiciones del órgano de aceleración.

Puede apreciarse en la figura 3 como el par del motor no se ve afectado por el tipo de combustible bajo las cargas realizadas, siendo mayor la cobertura en carga obtenida con la gasolina comercial. Al 75 % de apertura de la mariposa esta diferencia es mayor, con una ligera superioridad del par para la gasolina comercial, seguido por el combustible verde.

3. Característica parcial de velocidad del motor

En la figura 4 se ha graficado la característica de velocidad bajo carga parcial.

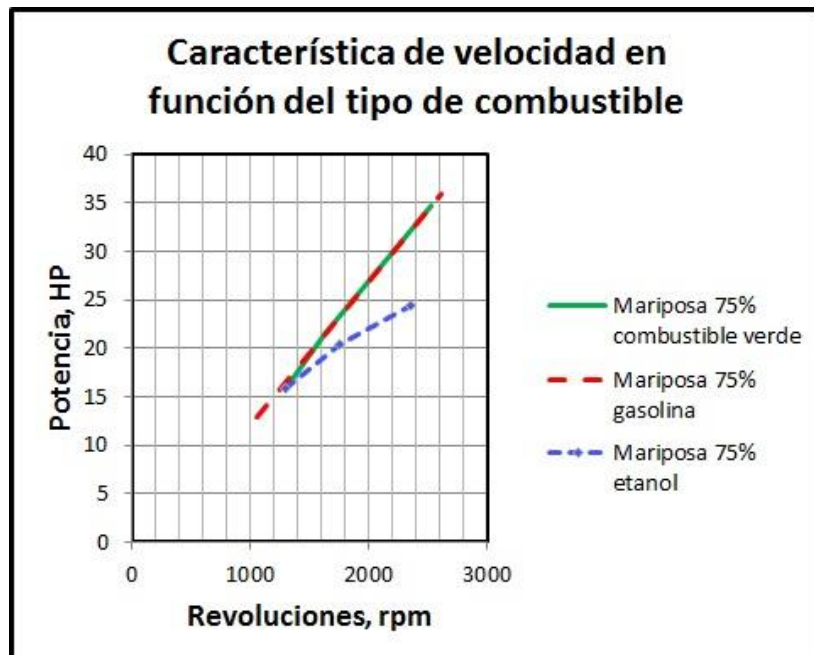


Figura 4. Características de velocidad del motor operando al 75 % de la carga de prueba del banco.

La característica de velocidad permite ver un comportamiento equivalente del motor operando con el combustible comercial y el combustible verde, excepto por el rango extendido para el caso de la gasolina, que permite una mejor estabilización en revoluciones bajas y altas, aunque cabe recordar que el carburador está ajustado para combustible comercial. El combustible verde para este estado de carga ofrece una mejor potencia que el etanol.

El consumo de combustible, referido a la unidad de potencia se conoce como consumo específico de combustible. En la figura 5 se ilustra el desempeño de esta variable para el 75 % de la carga de prueba del banco. Los valores se ven bajos y esto es causado por las incertidumbres de medición. La gráfica es útil para observar la tendencia del consumo de combustible en función de las emisiones y a esto se reduce su aplicación.

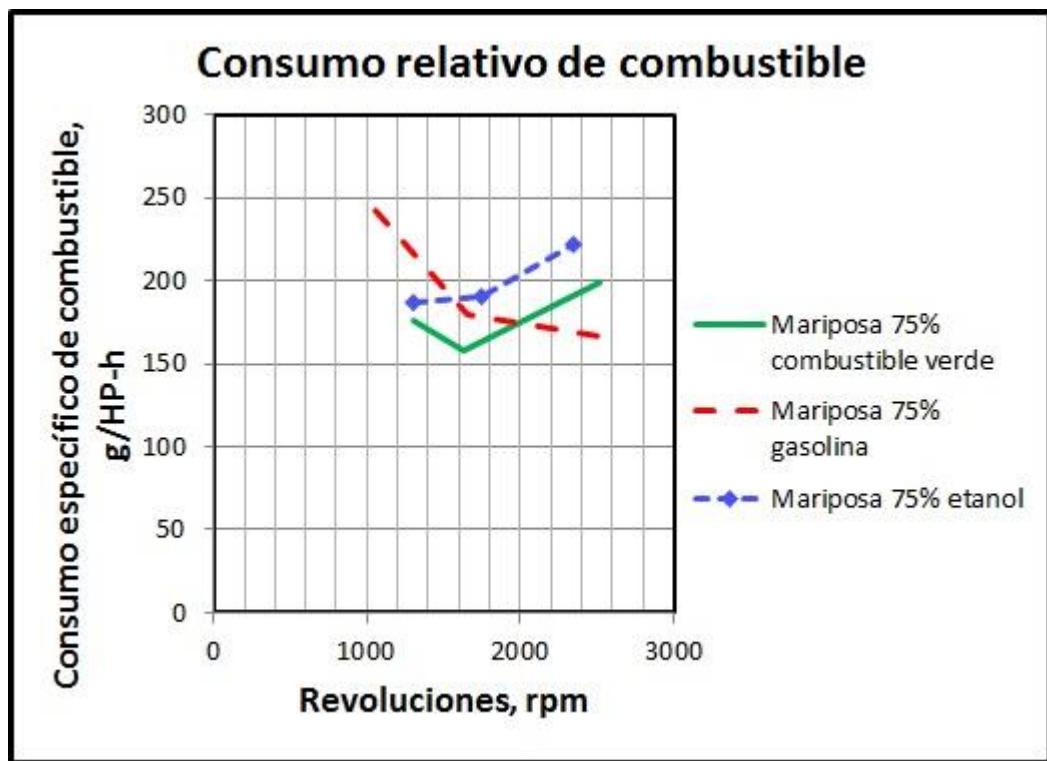


Figura 5. Características de consumo de combustible bajo carga parcial del motor operando al 75 % de la carga de prueba del banco.

Manteniendo el juicio de que con gasolina el rango de revoluciones del motor es mayor, cabe decir que el consumo con combustible verde tiene una tendencia menor que con el combustible comercial y con el etanol. Se recomienda realizar más pruebas para verificar la repetibilidad de estos valores.

4. Comportamiento de las emisiones del motor con los tres combustibles

En las figuras 6 y 7 se ilustran las variaciones del monóxido de carbono y la composición de la mezcla para dos estados de carga: en vacío y al 30 % de la potencia de prueba del banco.

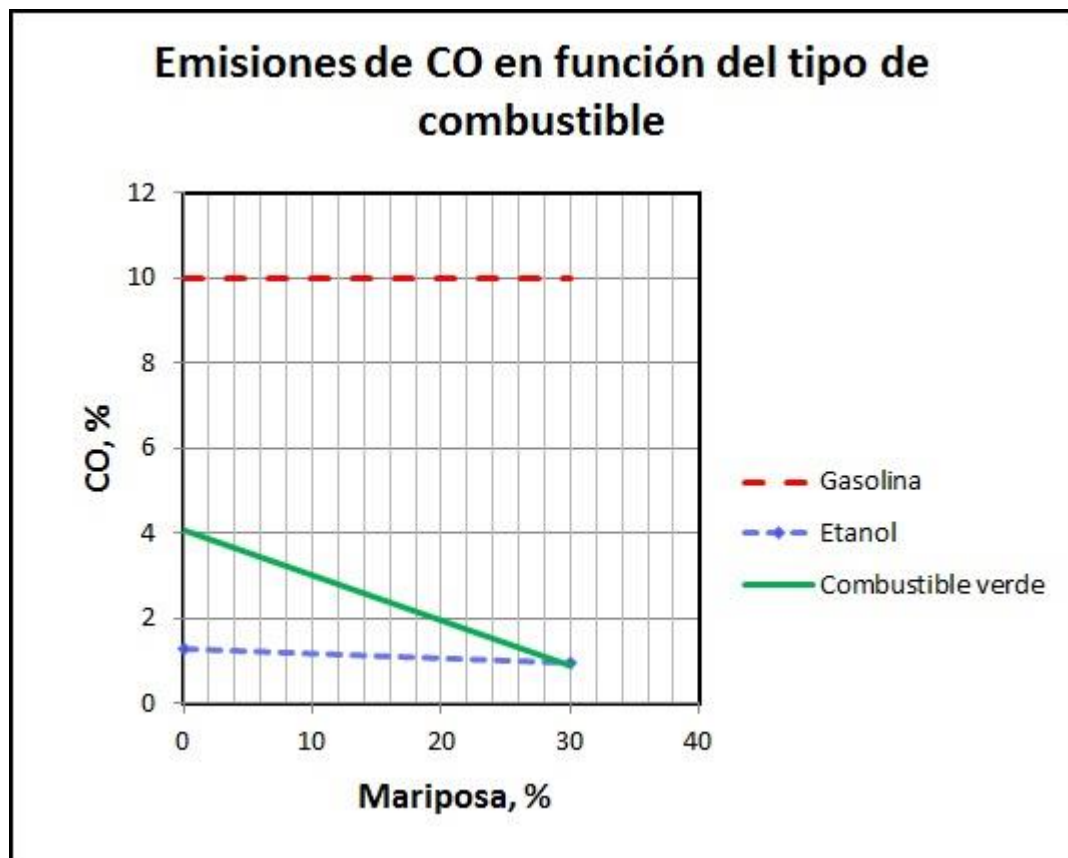


Figura 6. Emisiones del motor operando entre vacío y el 30 % de la potencia de prueba del banco.

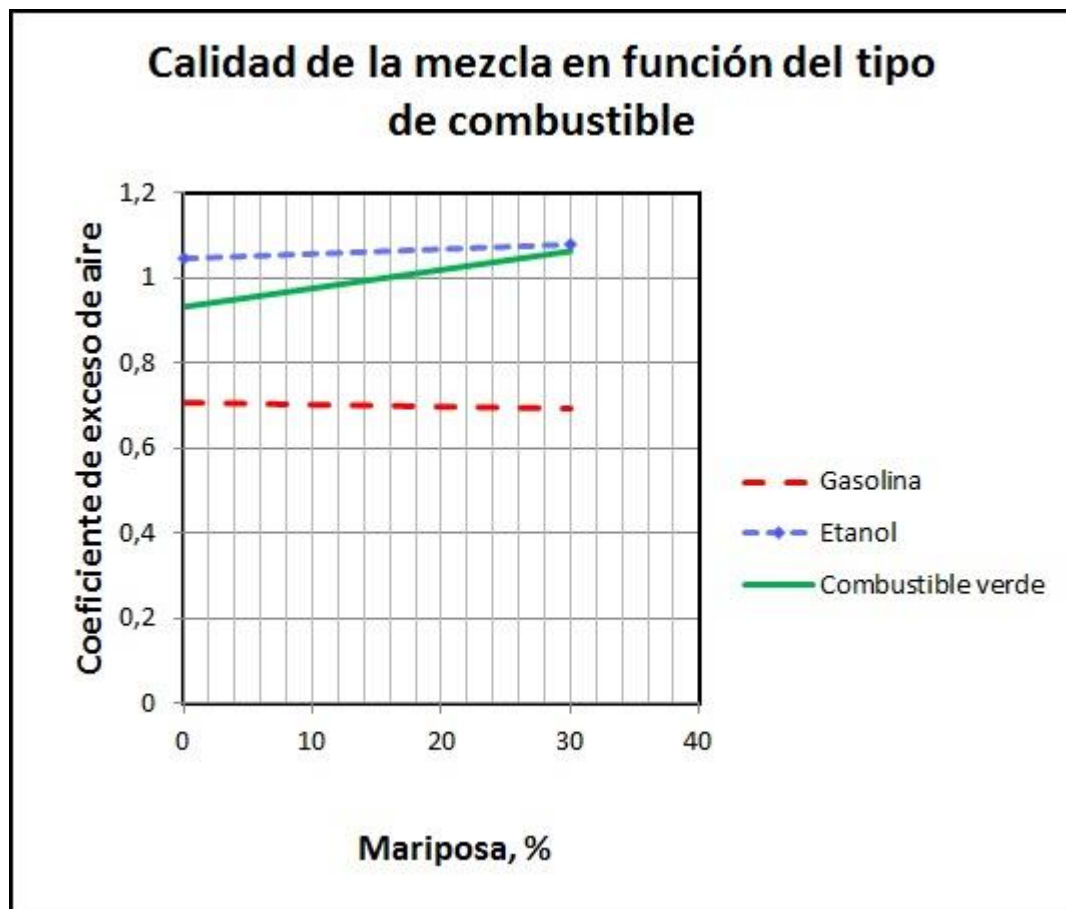


Figura 7. Coeficiente de exceso de aire en mezcla del motor operando entre vacío y el 30 % de la potencia de prueba del banco.

Con consideración de las desviaciones propias de las mediciones y la variabilidad inducida por el tipo de freno de carga, puede verse que las emisiones de monóxido de carbono del combustible verde son significativamente menores que las de la gasolina, algo mayores que las del etanol, pero con tendencia a igualarse a medida que crece la carga, lo que está en congruencia con la calidad de la mezcla que para los alcoholes se acerca a la pobreza. Es pobre y ligeramente constante para el etanol, es rica con transición a la pobreza a medida que aumenta la carga. El motor en su estado de regulación está para operar con mezclas ricas en combustible, muy ricas, para el caso del motor Hércules.

Comentarios y conclusiones

Se ha probado el motor Hércules G1600 operando con etanol, combustible comercial y un combustible oxigenado fabricado, presentando comportamiento de potencia satisfactorio.

Las emisiones observadas para del motor operando con el combustible verde son cercanas a las obtenidas con etanol.

Las pruebas estuvieron limitadas por las características del banco de fricción, que hace que el motor solo pueda trabajarse hasta un cuarto de su potencia y también por el hecho de que no se hicieron modificaciones a la carburación para el etanol, ni para el combustible verde.

Podrían realizarse pruebas mejores ajustando las regulaciones en el carburador para cada combustible en particular, pero esto estaba fuera de las posibilidades técnicas en el laboratorio, por la carencia de los surtidores apropiados.

Otras pruebas podrán realizarse en un motor monocilíndrico, en el cual se puede valorar mejor la estabilidad en revoluciones y en vibraciones del motor.

Podrán realizarse en el futuro pruebas en motor monocilíndrico bajo carga y con posibilidad de observar la variación de la presión en el cilindro, lo cual mostrará más características de combustión diferenciadoras para los tres tipos de combustibles.

Dificultades técnicas por no estar preparados y el accidente del estudiante de maestría que apoya los trabajos demoraron el desarrollo de los análisis, pero se espera que, siendo este el primer trabajo de consultoría, improvisada su ejecución, se pueda aprovechar la experiencia adquirida para nuevos trabajos o continuación organizada del presente estudio.

Las mediciones han sido realizadas por los estudiantes:

Olmedo Arias Pulgarín – estudiante de Maestría en Ingeniería Mecánica

Cristian David Ríos – estudiante de Tecnología Mecánica.